電力系統過渡安定度に関するアナログシミュレーション

小 林 英 夫　一 柳 勝 宏

Analogue Simulation of Electrical Power Systems for Transient Stability Studies

Hideo KOBAYASHI, Katsuhiro ICHIYANAGI

Adoptions of forced excitation, switched series condenser and damping resistor are, as well known, very effective to improve the transient stability of power systems.

Some experiments, in respect of the compensative effects of forced excitation and switched series condenser against the step out caused by faults, were executed and its consequences are showed.

Analogue computer simulation results on transient stability regions, in case that we take the switching times of excitation voltage and line constant as parameters, are described.

1. ま え が き

最近の電力系統の驚異的発展・複雑化にともない系統安定度に関する問題が系統信頼度問題と共に重要視される様になって来ている．系統の事故対策は最近の技術的進歩により種々の方法が考えられているが，特に過渡安定度向上対策としては事故時の強制励磁（forced excitation），直列コンデンサおよび制動抵抗投入など種々採り挙げられてきている．(1),(2),(3)

この研究では先づ事故想定に線路定数の急変を行い，事故時の直列コンデンサおよび強制励磁補償による過渡安定度の向上に関する実験をおこなった(4),(5)．これに続きシステムをアナログ計算機にてシミュレートし，発電機内部電圧を一定として線路定数切換えによる過渡安定度領域について調べた．すすんで同期機の特性シミュレーションにより，内部電圧の変動も考慮に入れた過渡安定度領域について解析したのでここに報告する．

2. 直列コンデンサおよび強制励磁補償による過渡安定度の向上に関する実験

〔実験方法とその結果〕

Fig. 2—1 に示す回路で S_1on, S_2off とし安定状態とする．S_1off により線路定数は $L_0 \rightarrow L_0+L$ の急変による事故想定とし脱調の如何について安定度の対象とした．この時リアクター $L_0$23Ω (p.u.1.29) で固定，事故想定用のリアクターは 13Ω(p.u. 0.73) である．

その結果，Fig. 2—2 に相差角 δ の変化を示すが，曲線aは S_1 を開きLを投入し脱調の様子を示す．曲線bはLを投入後，0.7(sec) 後に S_2 投入（内部誘起電圧200→220v）し，強制励磁を行った場合で復調安定となっている．Fig. 2—3 に相差角 δ と速度 $\dot{\delta}$ の位相面で示した．次に事故の想定は前と同様でL 投入後直列コンデンサ投入による安定度向上を行った．(Fig. 2—4) 無補償の場合は脱調となるが（曲線C）0.32 (sec) 後直列コンデンサー投入により復調安定となった．(曲線 d).

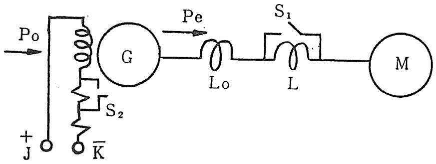


Fig. 2—1 強制励磁補償投入実験回路

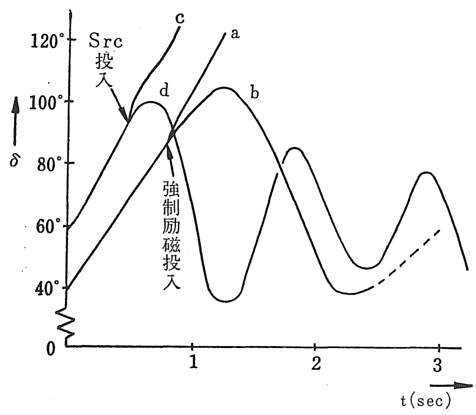


Fig. 2—2 相差角δの動揺曲線

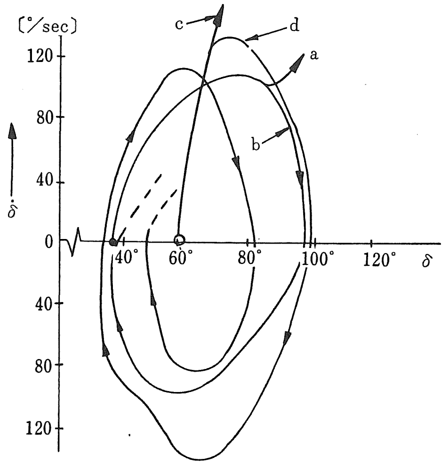


Fig. 2—3　位相面表示

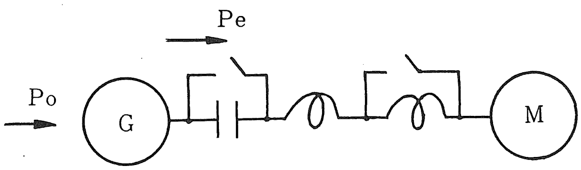


Fig. 2—4　直列ロンデンサ補償投入実験回路

測定した相差角はビジグラフ（三栄測器製：掃引 1m/sec）を使用し，両同期機端子電圧間の相差角とみなした．突極機でもあるので実際の内部相差角 δ 測定のためダルトン・カメロン法，すべり法等により各種測定試験を行い次の結果を得た．$M=5.74$ (sec)，$x_d=0.229$ (p.u)，$xq=0.140$(P.u)，$x'd=0.106$(p.u)，$x''_d=0.059$ (p.u)，これらの諸定数を用い過渡安定度補償の理論及び実験結果の比較検討をおこなってみたが測定した相差角は両機端子電圧の相差角とみなしたこと，制動項 $(d\delta/dt)$ の無視，過渡時の特性式が完全でないことなどの理由で理論との一致は得られなかったがこれについての検討はアナログ計算機等による同期機の特性シミュレーションが必要であり 4 節で更に考察する．

3. アナログ計算機による電力系統過渡安定度領域の解析

〔3—1〕 電力動揺方程式

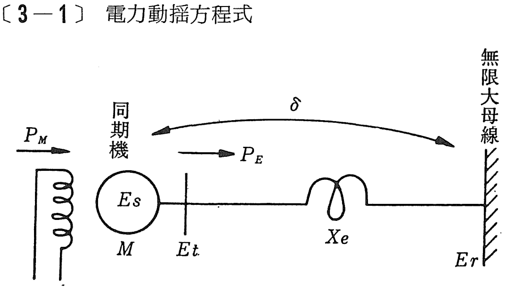


Fig. 3—1　モデル系統図

Fig. 3—1 に示す様に系統の基本的なものと考えられる無限大母線（内部インピーダンスが零で負荷の増減に対して電圧 E_r はその大きさも位相も全く変化せず慣性定数も極めて大きな電源をいう．）に接続された単機系統について考える．この系統の電力動揺方程式は次式で示される．

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2\delta}{dt^2}&=\frac{\omega_0}{M}(P_M-P_E)\\ P_E&=\frac{E_s\cdot E_r}{Xe}\sin\delta=P_m\sin\delta\end{aligned}\right\}\quad(3\text{—}1)$$

ここで　δ：相差角（E_s-E_r相差角）　ω_0：回転角速度　M：慣性定数　P_M：機械的入力　P_E：電気的出力　$P_m=E_s\cdot E_r/Xe$：正弦曲線の最大値　E_S：過渡内部電圧　E_r：受電電圧（無限大母線電圧）　X_e：線路リアクタンス

であり全て単位法 (Per unit) で表わされる．

〔3—2〕 モデル系統のアナログシミュレーション

電力動揺方程式（3—1）式をアナログ計算機組み込みのためタイムスケール変換を行う．

（3—1）式　$\dfrac{d^2\delta}{dt^2}=\dfrac{\omega_0}{M}(P_M-P_m\sin\delta)$

に対し，タイムスケールファクター　$\beta_t=\sqrt{M/\omega_0P_M}$ としタイムスケール変換（$t\to\sqrt{M/\omega_0P_M}\ t$）を行うと（3—1）式は

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2\delta}{dt^2}&=1-\frac{P_m}{P_M}\sin\delta\\ &=1-m\sin\delta\end{aligned}\right\}\quad(3\text{—}2)$$

ここに　$m=\dfrac{P_m}{P_M}=\dfrac{1}{P_M}\cdot\dfrac{E_s\cdot Er}{X_e}$

更に制動巻線・回転機の摩擦などによる制動作用を考慮に入れて制動項 $-nd\delta/dt$ を加えて（3—2）式は

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2\delta}{dt^2}&=1-n\frac{d\delta}{dt}-\frac{P_m}{P_M}\sin\delta\\ &=1-n\frac{d\delta}{dt}-m\sin\delta\end{aligned}\right\}\quad(3\text{—}3)$$

と書き直される．したがって線路リアクタンス X_e の切換えは操作量mの係数切換えと考えられる．

〔3—3〕 アナログ計算機プログラミング[6]

動揺方程式（3—3）の $\ddot{\delta}(=d^2\delta/dt^2)$，$\dot{\delta}(=d\delta/dt)$ について Table 3—1 の様なスケール変換を行う．

Table 3—1：スケール変換表

変数	推定最大値	スケールファクター	計算機変数
δ	1	1	〔δ〕
$\dot{\delta}$	α	$1/\alpha$	〔$\dot{\delta}/\alpha$〕
$\ddot{\delta}$	β	$1/\beta$	〔$\ddot{\delta}/\beta$〕

NoTE. 1. 計算機変数＝スケールファクタ×変数

2. 一般に微分方程式中の変数の最大値を予測する必要はなく，２番目の高次微分項の最大値と同じ値にしておくだけでよい．ただし最高次の微分項をレコーダに記録する必要のあるときは例外である．

3. δ についてのスケール変換は原式が非線形微分方程式であるから行なわないが実際演算の際も最大値１とすれば充分である．

原式（３－３）をTable 3—1 の計算機変数に基づいて次の如く変形する．

$$\frac{d^2\delta}{dt^2}=1-n\frac{d\delta}{dt}-m\sin\delta \qquad (3\text{—}3)$$

$$\left[\frac{\ddot{\delta}}{\beta}\right]\times\beta=1-n\cdot\left[\frac{\dot{\delta}}{\alpha}\right]\times\alpha-m\sin[\delta]$$

$$\left[\frac{\ddot{\delta}}{\beta}\right]=\frac{1}{\beta}-n\left[\frac{\dot{\delta}}{\alpha}\right]\times\frac{\alpha}{\beta}-\frac{m}{\beta}\sin[\delta] \qquad (3\text{—}4)$$

演算の際推定最大値 α, β を10とするのが適当である．$\alpha=\beta=10$ を（３－４）式に代入しそのブロックダイアグラムは Fig. 3—2 の如くなる．

$$\left[\frac{\ddot{\delta}}{10}\right]=\frac{1}{10}-n\left[\frac{\dot{\delta}}{10}\right]-\frac{m}{10}\cdot\sin[\delta] \qquad (3\text{—}5)$$

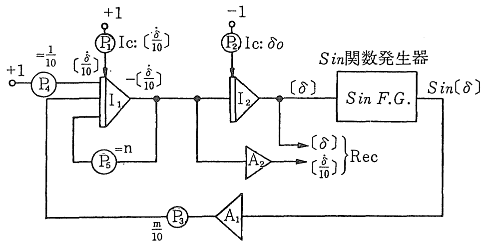
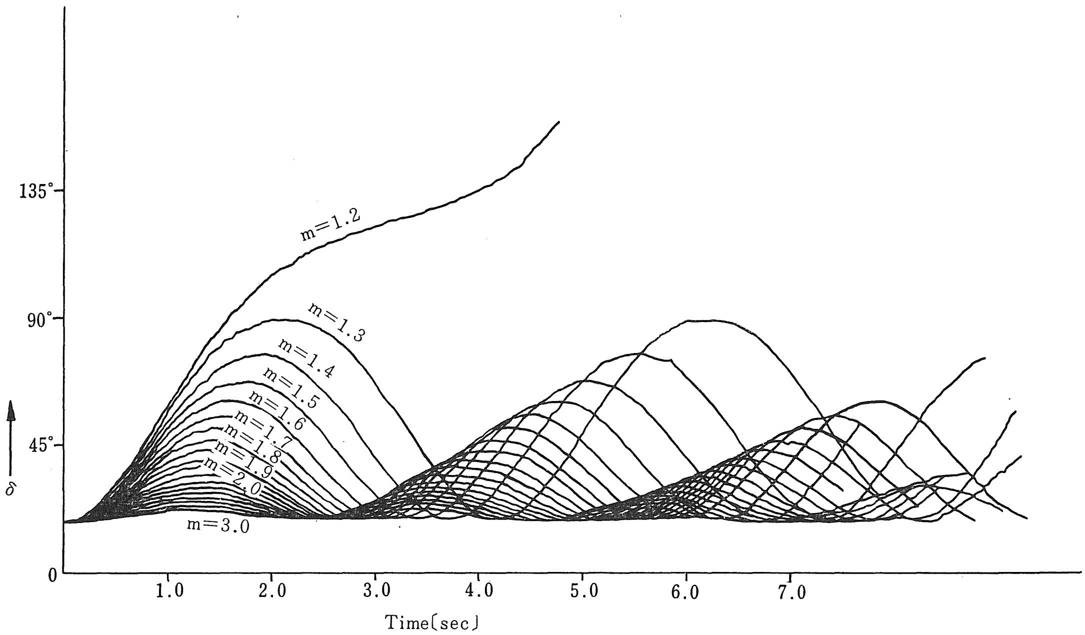


Fig. 3—2　安定度解析のためのアナログ計算機ブロック線図

アナログ計算機 ALM 502T のダイナミックレンヂは 0.5v～50v であることから 50v⇒1 とし現象と電圧との対応は　$\dot{\delta}$……±5v＝±1.0

δ……±25v＝±90°

以下動揺方程式は（３－３）式を代表して取り扱うこととする．Fig. 3—3 および 3—4 に m, n を変化させたときδの変動および δ—$\dot{\delta}$ の位相面で表わした．



$\left(\frac{d^2\delta}{dt^2}=1-n\frac{d\delta}{dt}-m\,\mathrm{Sin}\,\delta,\ n=0,\ 初期値\ \dot{\delta}o=0\ \delta o=18°\right)$

Fig. 3—3　m＝1.2→3.0 に変化させた時の動揺曲線の比較

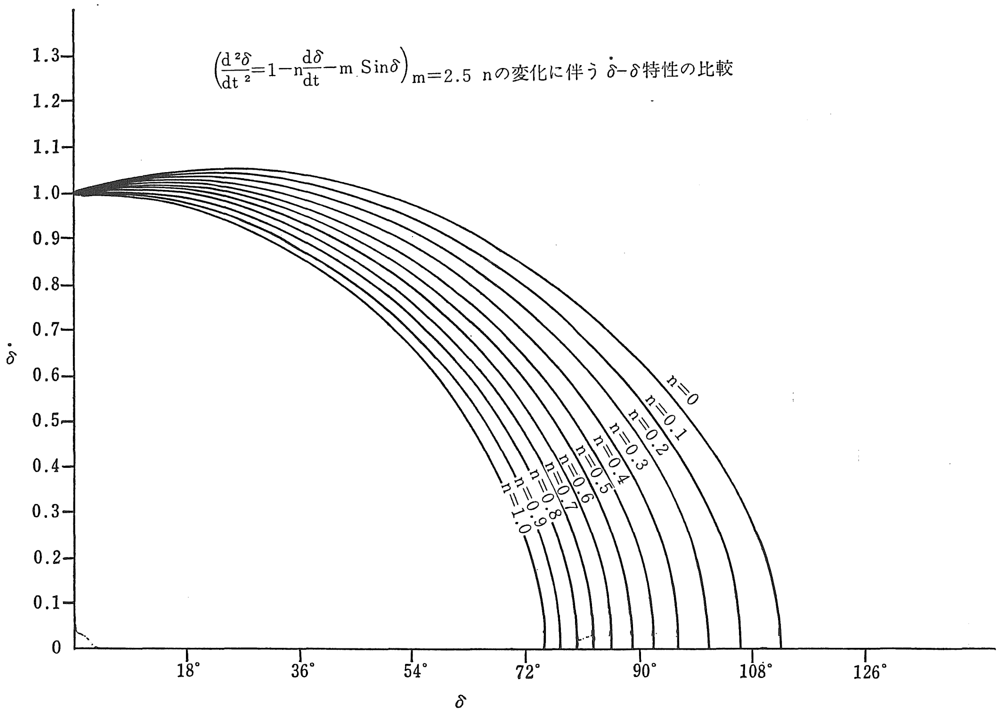


Fig. 3—4　m=2.5の時nの変化に対する位相面軌道の比較

〔3－4〕 過渡安定度領域解析結果

電力動揺方程式（3－3）における $n=0, m=1.5$ 及び2.5について安定度領域の大きさを比較するために演算を行った．その結果をFig. 3—5に δ_0, $\dot{\delta}_0$(δ, $\dot{\delta}$の初期値）に対しての δ, $\dot{\delta}$ の変化を位相面で表わす．又Fig. 3—6, Fig. 3—7には m 及び n に対応した $\delta, \dot{\delta}$ の初期値に対する安定限界を示す．

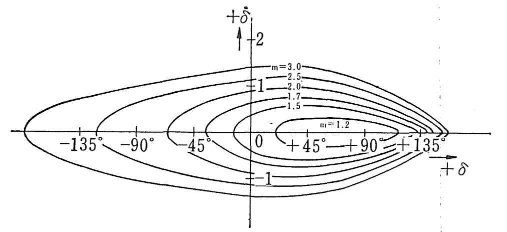


Fig. 3—6　$\left(\frac{d^2\delta}{dt^2}=1-n\frac{d\delta}{dt}-m\sin\delta\right)_{n=0}$ 各mによる δ, $\dot{\delta}$ の安定限界

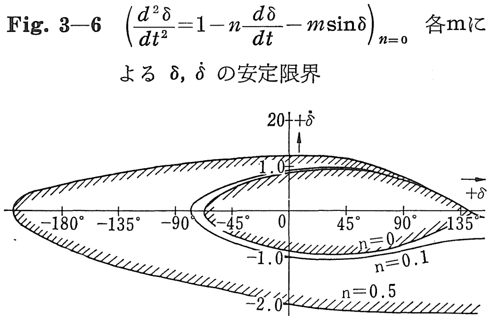


Fig. 3—7　$\left(\frac{d^2\delta}{dt^2}=1-n\frac{d\delta}{dt}-m\sin\delta\right)_{m=2\cdot0}$ 各nによる δ, $\dot{\delta}$ の安定限界

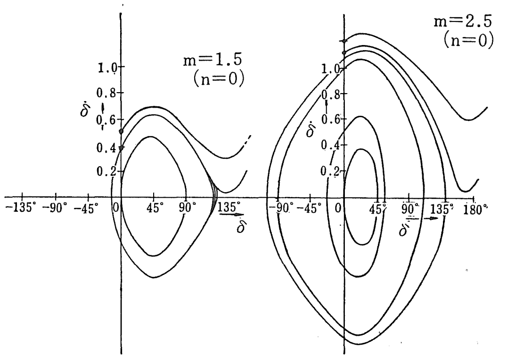


Fig. 3—5　δ—$\dot{\delta}$ 位相面表示

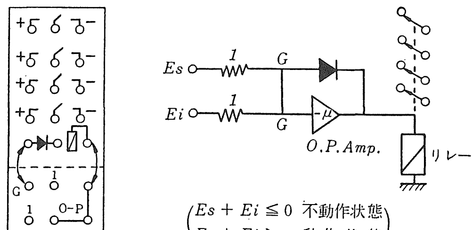
〔3－5〕 線路定数切換えによる過渡安定度領域の解析(6)

（3－5・1）比較素子（comparator）による定数切換

定数切換えのために演算には比較素子を使用したの

で Fig. 3—8 にこの結線図と回路構成を示す.

演算開始後の定数切換えは Fig 3—9 の如く行うとよい.



比較素子の組み方

$\left(\begin{array}{l} Es+Ei \leqq 0 \text{ 不動作状態} \\ Es+Ei > 0 \text{ 動作状態} \end{array}\right)$

比較器回路構成

Fig. 3—8

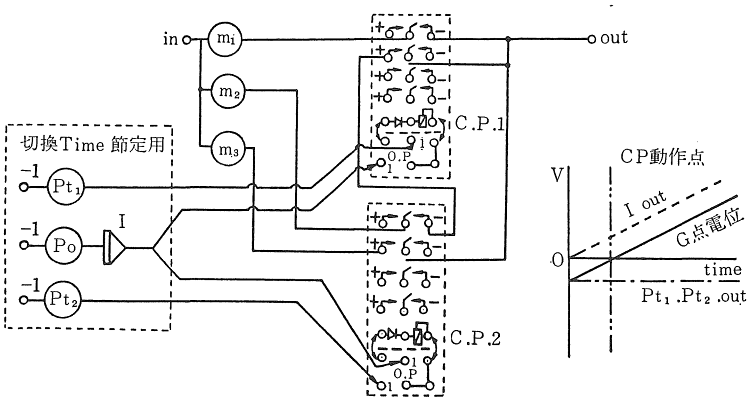


Fig 3—9 定数切換 ($m_1 \longrightarrow m_2 \longrightarrow m_3$, $P_{t1} < P_{t2}$)
$t_1$sec後 $t_2$sec後

(3—5・2) m切換えの意味[11]

更に位相面で表現された安定領域を操作量mをパラメータと考えて三次元的に表現すると Fig. 3—10 で表わされる.

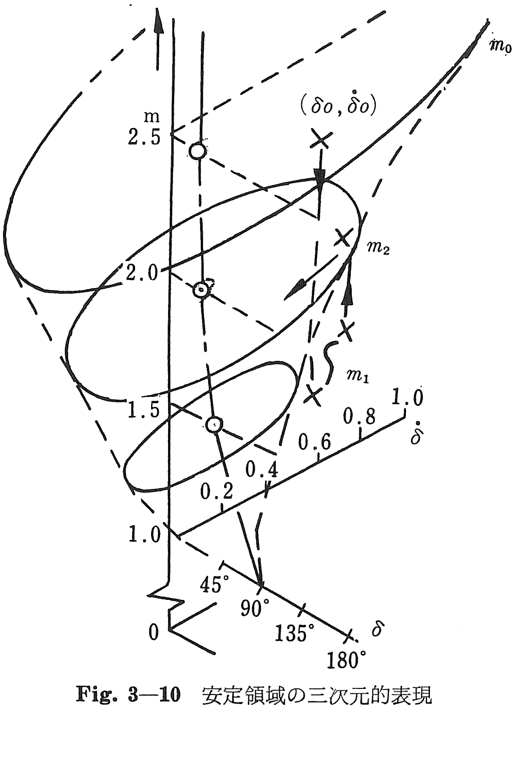


Fig. 3—10 安定領域の三次元的表現

電力動揺方程式 (3—3) を $n=0$ とした式より解く.

$$\frac{d^2\delta}{dt^2}=1-m\cdot\sin\delta \qquad (n=0)$$

$$\frac{d\delta}{dt}=\dot{\delta}$$

$$=\pm\sqrt{2(\delta+m\cos\delta)-2(\delta_0+m\cos\delta_0)+\dot{\delta}_0{}^2} \tag{3—6}$$

$$t=\int_{\delta_0}^{\delta_c}\frac{d\delta}{\sqrt{2(\delta+m\cos\delta)-2(\delta_0+m\cos\delta_0)+\dot{\delta}_0{}^2}} \tag{3—7}$$

いま Fig. 3—10 において正常操作量 m_0 の位相面での安定領域内の一点 ($\delta_0, \dot{\delta}_0$) より線路故障等による m_1 の操作量の急変があったとする. この時 δ_0, $\dot{\delta}_0$ が m_1 の位相面安定領域外にあれば m_1 面上での位相角 δ は増大し脱調現象となる. この場合操作量 m_0 が m_1 に移って以後別の安定な m_2 について安定とするためにはある時間 t(sec) 内に m_2 に切換えを行い m_2 の安定領域内へ引込むことである.

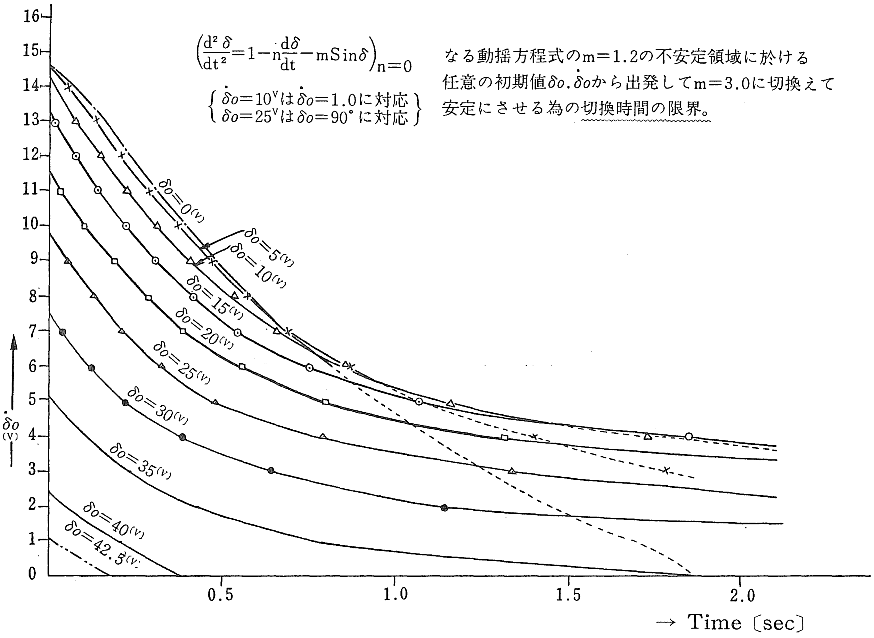


Fig. 3—11　現象安定化の為のm切換限界時間測定 1

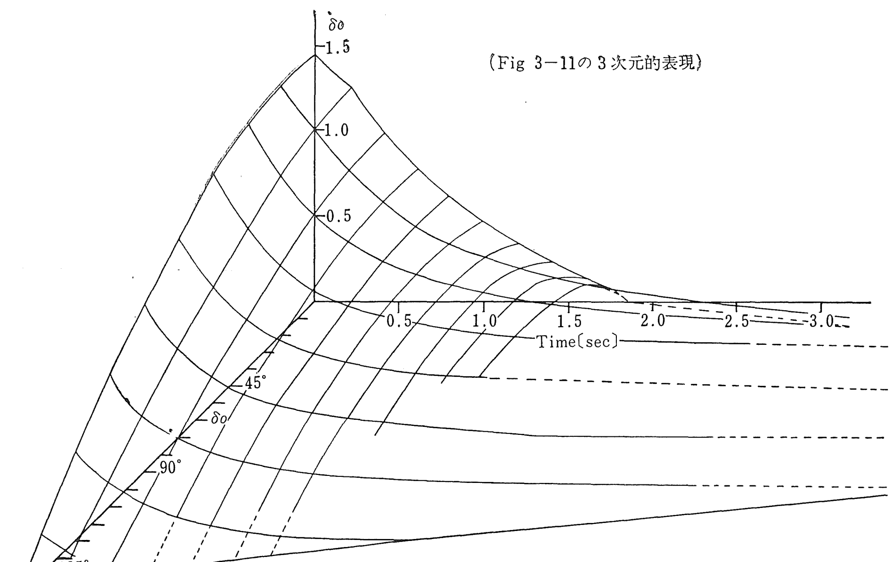


Fig. 3—12　現象安定化の為のm切換限界時間測定 2

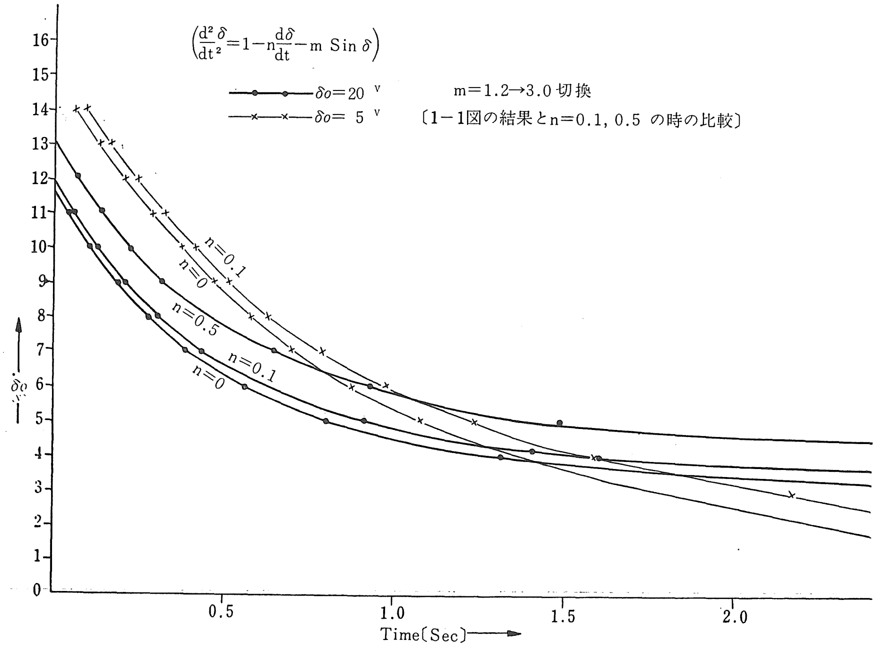


Fig. 3—13 現象安定化の為のm切換限界時間測定 3

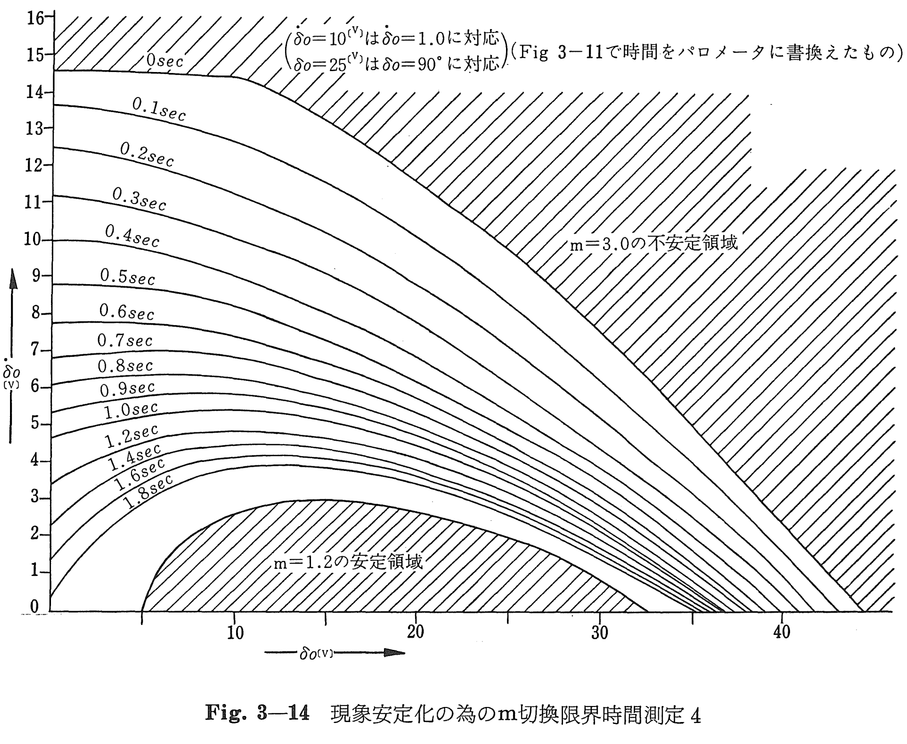


Fig. 3—14 現象安定化の為のm切換限界時間測定 4

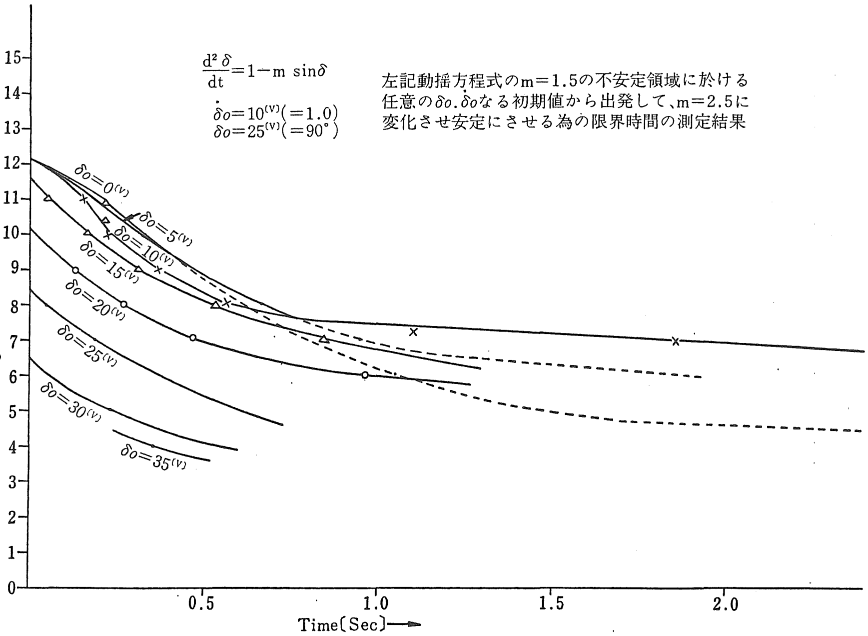


Fig. 3—15 現象安定化の為のm切換限界時間測定 5

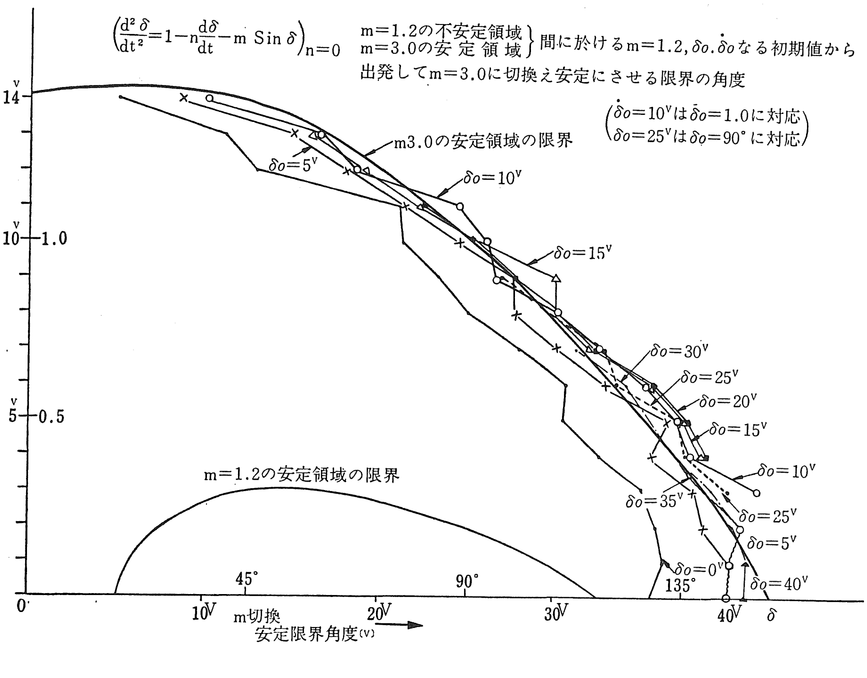


Fig. 3—16 m切換による安定臨界角度

4. 同期機のアナログシミュレーションによる過渡安定度

系統過渡安定度において安定・不安定の判別は水車の調速機及び自動電圧調整装置などの影響は速応励磁方式を採用したものを除いては応答速度がかなり遅いのでこれを無視し，系統じょう乱発生後の約1秒で決定している．

したがって過渡安定度が問題となる時間に対しては同期機の機械的入出力は一定とみなして，また過渡内部電圧も3節同様一定という仮定において行っている．実際，演算においてかなりの時間経過後の脱調現象がみられた．

以上の点より内部電圧等の変化にも考慮して過渡安定度について同期機アナログシミュレーションを行った．

〔4－1〕 系統の動特性[8]

外部回路を含む突極形発電機のベクトル図をFig 4—1に二反作用法により表わす．

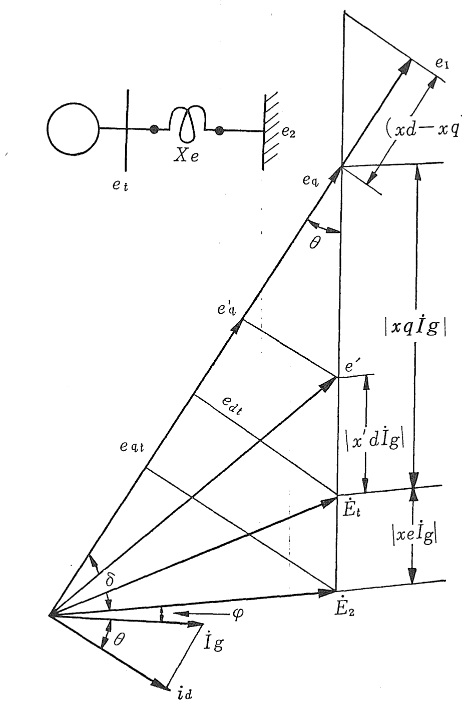


Fig. 4—1 外部回路を含む同期機ベクトル図

図の記号は　e_q：x_q 背後電圧　e_{dt}, e_{qt}：端子電圧 d 軸，q 軸成分，e_q'：x_q 背後電圧 q 軸成分 I_g：発電機電流　id, iq：発電機電流 I_g の d 軸 q 軸成分及び次の記号は電機子誘起電圧に換算．

e_I：界磁電流 q 軸成分　e_{fd}：界磁電圧 q 軸成分

e_q'：界磁磁束 q 軸成分

鎖交磁束が変化する場合の関係式は次式で示される．

$$\frac{de_q'}{dt}=\frac{1}{Td_0'}(e_{fd}-e_I) \qquad (4—1)$$

ただし，Td_0'：界磁開路時定数

Fig. 4—1 においてこれらの諸関係式を求めれば次の如くなる．（尚次過渡成分については一応その効果を無視して考えることにする．実際系統安定度問題においてはその効果を無視しても差支えない.）

$$\begin{cases} e_I=\dfrac{x_d-x_d'}{x_q-x'_d}e_q-\dfrac{x_d-x_q}{x_q-x_d'}e_q' & (4-2) \\ e_q'=e_q-(x_q-x_d')i_d & (4-3) \end{cases}$$

（4－2）に（4－3）を代入し（4－4）式を得る．

$$e_I=e_q'+(x_d-x_d')i_d \qquad (4—4)$$

$$\therefore\quad i_d=\frac{e_I-e_q'}{x_d-x_d'} \qquad (4—5)$$

無限大母線電圧 E_2 とすれば同ベクトル図より

$$i_d=|\dot{I}_g|\cos\theta$$

$$\cos\theta=\frac{i_d}{|\dot{I}_g|}=\frac{e_q-E_2\cdot\cos\delta}{(x_q+x_e)|\dot{I}_g|}$$

$$\therefore\quad e_q=E_2\cos\delta+(x_q+x_e)i_d \qquad (4—6)$$

発電機出力 P_e とすれば

$$P_e=e_q\cdot|\dot{I}_g|\cos(\delta+\phi)=e_q\cdot|\dot{I}_g|\sin\theta$$

$$\sin\theta=\frac{E_2\cdot\sin\delta}{(x_q+x_e)|\dot{I}_g|}$$

$$\therefore\quad P_e=\frac{e_q\cdot E_2\sin\delta}{x_q+x_e} \qquad (4—7)$$

端子電圧 e_t については

$$e_t^2=e_{dt}^2+e_{qt}^2 \qquad (4—8)$$

ベクトル図より

$$\frac{e_{dt}}{x_q|\dot{I}_g|}=\frac{E_2\cdot\sin\delta}{(x_q+xe)|\dot{I}_g|}$$

$$\therefore\quad e_{dt}=\frac{x_q}{x_q+x_e}E_2\cdot\sin\delta \qquad (4—9)$$

$$\frac{e_q-e_{qt}}{x_q\cdot|\dot{I}_g|}=\frac{e_q-E_2\cos\delta}{(x_q+x_e)|\dot{I}_g|}$$

$$\therefore\quad e_{qt}=\frac{x_e}{x_q+x_e}e_q+\frac{x_q}{x_q+x_e}E_2\cos\delta \qquad (4—10)$$

更に A.V.R の特性は簡単に次の式で表わす．

$$\frac{de_{fd}}{dt}=-\mu\frac{de_t}{dt} \qquad (4—11)$$

$$\therefore\quad e_{fd}=-\mu e_t+E_{FD} \qquad (4—12)$$

（ただし μ：A.V.R 伝達関数，EFD励磁電圧定数）

〔4－2〕 アナログ計算機プログラミング[6]

同期機のアナログシミュレーションによる系統の過渡安定度の解析に於て実際には内部誘起電圧一定として取り扱うわけにはいかない．そこで電力方程式 P_E の E_s を e_q(内部誘起電圧は e_q であるとして)，E_r を E_2 で表わし，（4－1），（4－3），（4－4）より

$$\frac{de_q'}{dt}=\frac{1}{T_{do}'}\left(e_{fd}+\frac{x_d-x_q}{x_q-x_d'}e_q'-\frac{x_d-x_d'}{x_q-x_d'}e_q\right) \qquad (4—13)$$

（4－3），（4－6）より

$$e_q=\frac{x_q+x_e}{x_d'+x_e}e_q'-\frac{x_q-x_d'}{x_d'+x_e}E_2\cos\delta \qquad (4—14)$$

及び動揺方程式から

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2}+D\frac{d\delta}{dt}=P_M-P_E \qquad (4—15)$$

$$M=\frac{GH}{180f}\left(\begin{array}{l}M:\text{慣性定数}\quad f:\text{周波数}\quad G:\text{定格}\\ \text{出力(MVA)}\quad H:\text{単位慣性定数 (MJ}\\ \text{/MVA)}\end{array}\right)$$

以上三式と先きの（4－7）～（4－12）式よりアナログ計算機組み込みのためのブロックダイアグラムを作ると Fig 4—2 に示す様になる．このときの各変数に対するスケール変換は Table 4—1 に示す．

Table 4—1

変　数	推定最大値	スケールファクタ	計算機変数
e_{fd}	10	1/10	〔$e_{fd}/10$〕
$\dot{e}_q'$	10	1/10	〔$\dot{e}_q'/10$〕
e_q'	10	1/10	〔$e'_q/10$〕
e_q	10	1/10	〔$e_q/10$〕
P_E	250	1/250	〔$P_E/250$〕
$\ddot{\delta}$	1	1	〔$\ddot{\delta}$〕
$\dot{\delta}$	1	1	〔$\dot{\delta}$〕
δ	1	1	〔δ〕

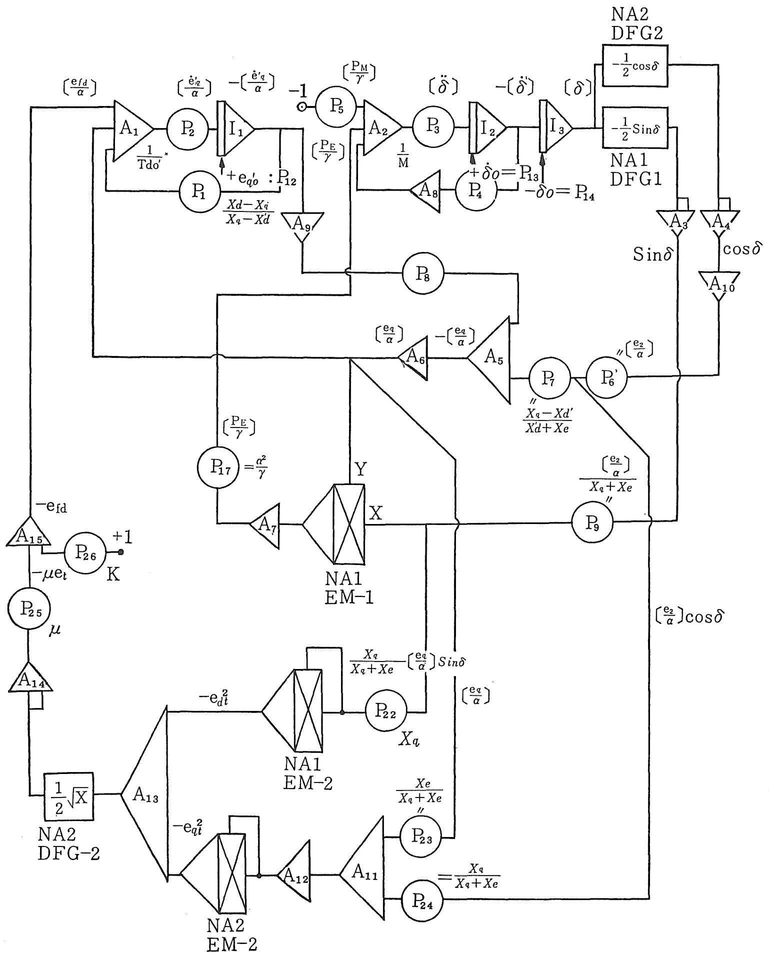


Fig. 4—2　同期機のアナログシミュレーション

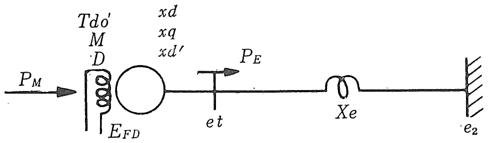


Table 4—2 モデル系統各種定数

諸　　量	記号	数値例 (単位法)	備　　考
直軸リアクタンス	xd	1.15	同期機各種定数
横軸リアクタンス	xq	0.75	
過渡リアクタンス	xd'	0.37	
界磁開路時定数	Tdo'	5.60	
慣性定数	M	5.53	
制動定数	D	0	
機械的入力	P_M	—	同期機入力
励磁電圧 *	E_{FD}	—	
外部線路リアクタンス	x_e	—	外部回路
無限大母線電圧	e_2	1.00	

*：強制励磁（E_{FD} 切換え）により安定化

〔4—3〕 解析例と結果

モデル系統として制動巻線をもつ突極型同期機を有する系統としその各定数を Table 4—2 に示す．演算に際しての事故発生時点は演算開始時点（初期条件）とし最初の段階として A.V.R 効果を無視する．

（4—3・1）x_e 切換えによる安定化

過渡安定度の向上対策としての事故時の直列コンデンサ補償がこの x_e 切換えによる操作と考えられる．x_e：(1.25p.u 事故時→0.5p.u 事故除去）の切換えによる安定度解析結果を Fig. 4—3・(i) に示す．図において曲線 a は切換え無し脱調の様子を示し，曲線 b, c は故障発生後 $5/30$(sec)，$10/30$(sec) においての切換えによる安定化を示す．曲線 d では $12/30$(sec) 後の切換操作遅れによる脱調となっている．Fig 4—3(ii) は曲線 a, c に対応した電力—相差角特性曲線を示す．

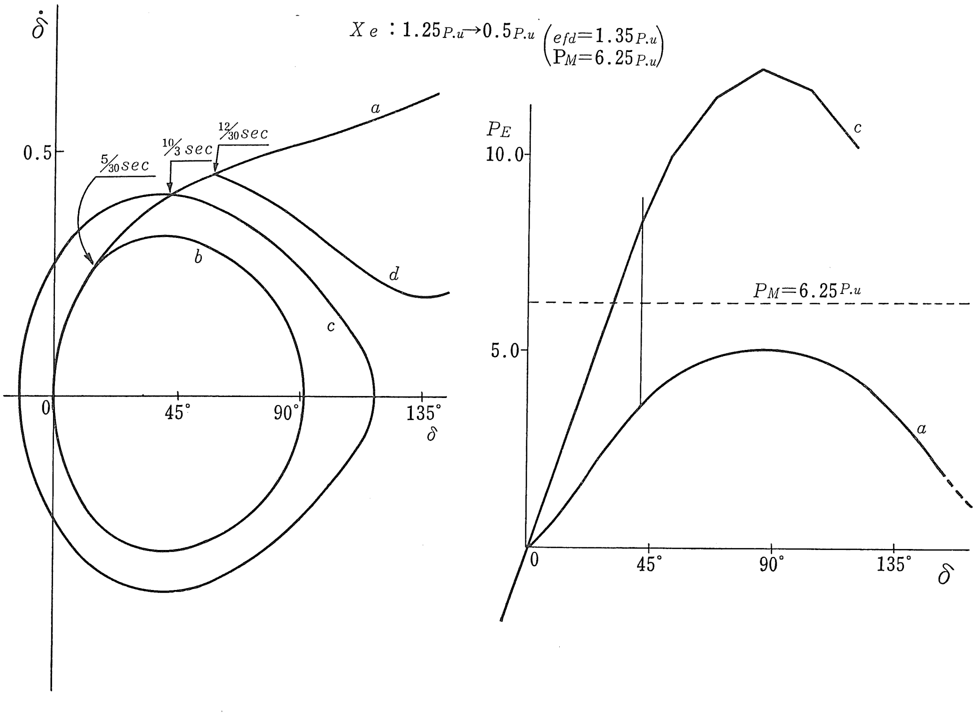


Fig. 4—3 線路定数 x_e 切換えによる安定化

（4－3・2）E_{FD}切換えによる安定化

xe切換えに対してこの E_{FD} 切換えは前述の強制励磁補償に相当すると考える．E_{FD}：(0.15 p.u 事故時→1.0 p.u強制励磁投入）の切換えによる解析結果を Fig. 4—4 に示す．

（4－3・3）x_e,E_{FD} 切換え組合せによる安定化

x_e および E_{FD} の単独切換えにより過渡安定度の向上が得られることは前述してきた通りである．更に両者の組合せによる安定化について実験してみた．(Fig.4—5)

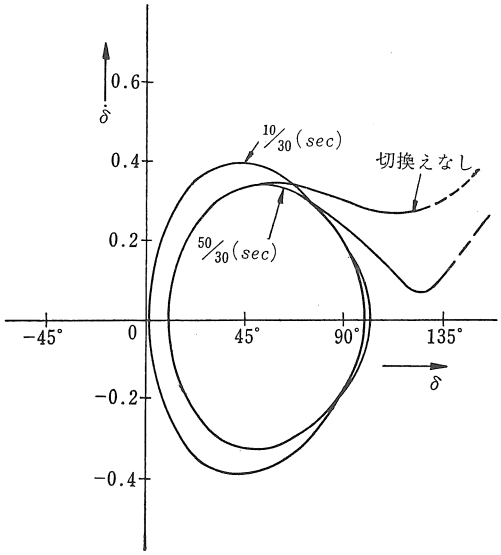
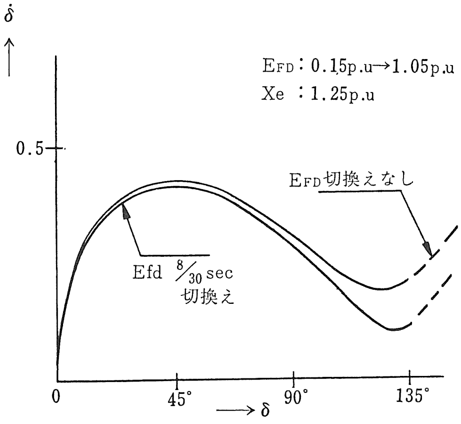


Fig. 4—4　E_{FD}切換えによる安定化



(i) 8/30 sec EFD 切換え

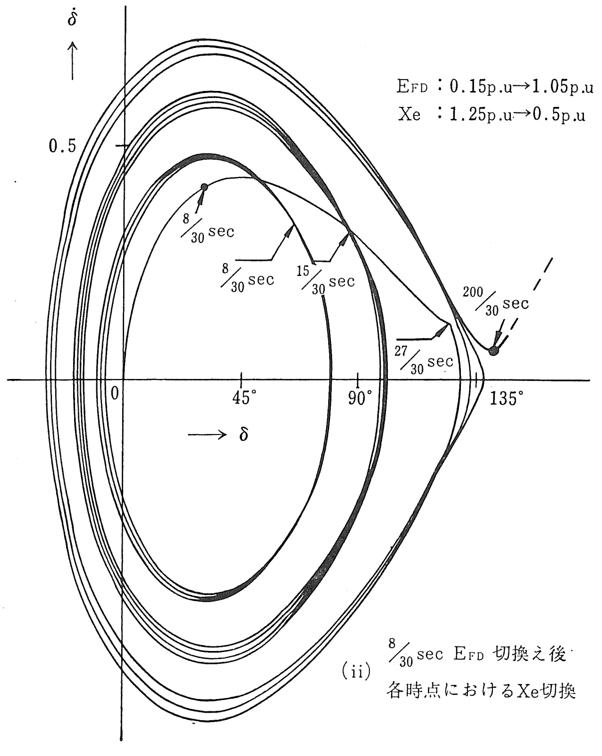


Fig. 4—5　x_e, E_{FD} 切換え組合せによる安定化

x_e, E_{FD} 2段切換え時間による安定領域を表示すると Table 4—3 (i)～(iii) となる．(○印：安定，×印：不安定，×印の添え数字は Swing 後脱調)

(i) 及び (ii) 図の切換え操作 (x_e：1.25p.u→0.5p.u, E_{FD}：0.15p.u→1.04p.u) において機械入力 P_Mはそれぞれ 10.0p.u 及び 14.0p.u である．結果から判る様に電気的出力P_eに対して，P_M は小さな値程切換時間の安定度領域は広い．この事は入力P_Mの大小に対する安定性を等面積法で考えればよい．

(iii) 図では切換操作 (x_e：1.25p.u→1.0p.u, E_{FD}：0.15 p.u → 1.04 p.u, P_M：10.0 p.u) を示す．この場合 E_{FD}7(sec) 以後の x_e の切換え操作は却って不安定となる現象がみられている．

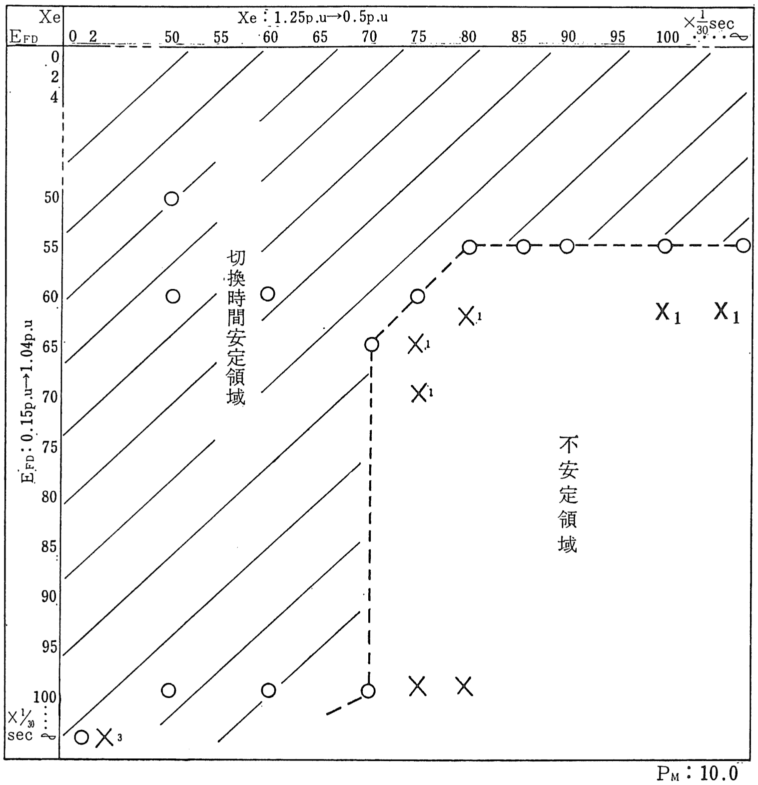
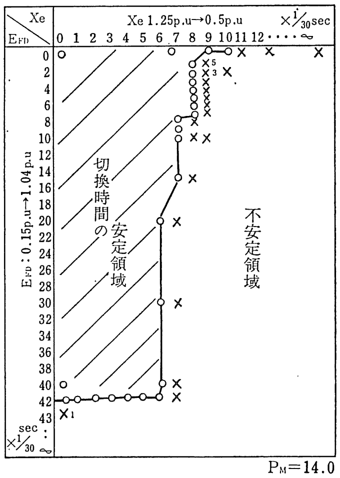
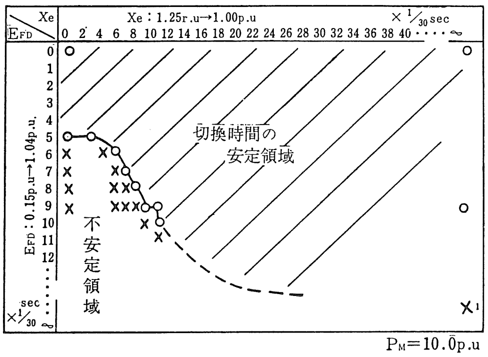


Table. 4—3 (i)



(ii)



(iii)

(4－3・4) Multi Swing の安定判別

過渡内部電圧一定とした場合の安定度の一般的解析では系統じょう乱発生後の First Swing で安定の如何が決定できるが，Fig 4—5(ii)efd : $^{27}/_{30}$(sec) 切換えによる場合 3 Swing の $^{200}/_{30}$(sec) 後に脱調という現象がみられている．他にこの様な例は数 Swing 以上で脱調という現象も得られている．この場合には Multi Swing の安定判別が重要となる．

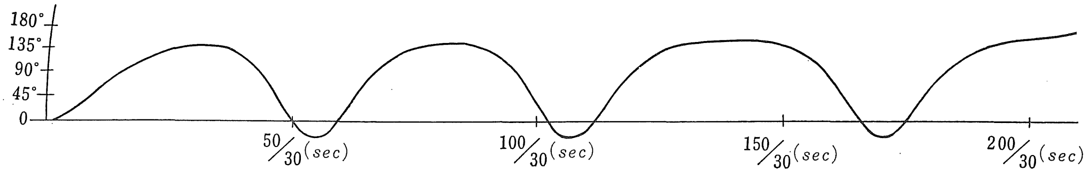


Fig. 4—5(iii) 同図 (ii) $c-{}^{27}/_{30}$sec 切換えによるδ動揺曲線

5. あとがき

今回の過渡安定度解析のモデル系統は無限大母線に接続された一機系を選んだのであるが，今後は負荷の動特性を考慮したシステム，更には多機系の基本となる三機系についても理論的実験研究を進めている．3節に記した様に過渡内部誘起電圧一定という仮定の一般的解析では安定度に関する臨界領域を除けば，First Swing で安定判別が容易に決定できる．しかし，4節の同期機アナログシミュレーションによる過渡内部誘起電圧を考慮した安定度解析では過渡内部電圧の影響と考えられる First Swing 後の安定度についても考慮の必要性があることが判明した．今回での同期機アナログシミュレーションはA.V.R装置，制動効果を無視しているがこれらを考慮した安定度についても更に検討している．又線路切換えについても更に線路の分布容量(9)，継電器等の切換え動作時間等を考慮した安定問題についても検討中である．最近の系統規模の増大，複雑化と共に，過渡安定度のみならず定態安定度，動態安定度の三つの見地からみた多機系統の安定度についても検討すべきである．

なお平素研究上の助言や資料の提供をいただく名大宮地教授及び中部電力技術研究所の皆様に御礼申し上げる．

6. 参考文献

(1) E.W. Kimbark : I.E.E.E. P.A.S. Feb. 1966
(2) 中部電力技術研究会資料
(3) H.M. Ellis, et. al. : I.E.E.E. Trans. P.A.S.-85 No 6. June 1966
(4) 小林，藤田，一柳：昭和42年電四東海支連講 3PF—1
(5) 小林，一柳：昭和43年電四連大講 880
(6) 日立製作所：ALM—502T 講習会テキスト
(7) N. Dharma Rao : A New Approach to The Transient Stability Probrem I.E.E.E. 1962 June
(8) 電気工学ハンドブック：送配電
(9) K.S. Julien : I.E.E.E. Winter Power Meeting, New York, N.Y., 1967
(10) 武藤，三浦：送配電工学
(11) H.E. Brown : I.E.E.E. Trans. P.A.S−84. No 12 December 1965
(12) E.W. Kimbark : "Power System Stability" Jhon Wiley & Sons, Inc.,