

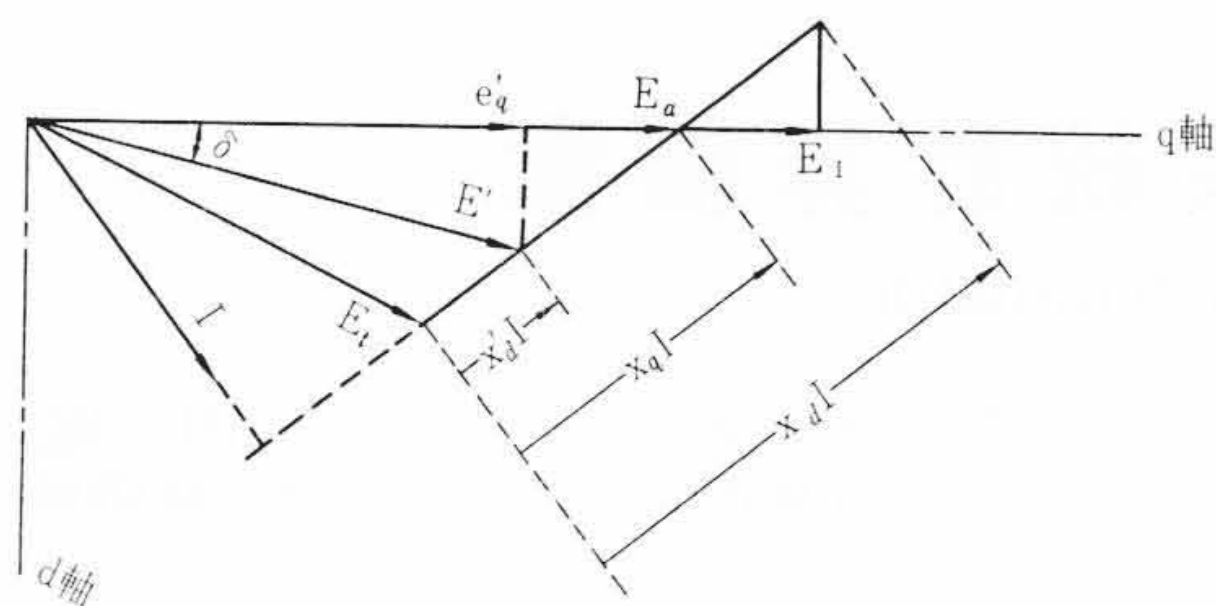


図2 同期機ベクトル図

動電圧調整器、調速機、発電機定数などから微小時間 Δt 秒後の各同期機の内部位相角、電圧、機械的入力を計算し、その変化量に従って、計算盤の各発電機単位の位相および電圧を調整する。以上の操作を所定の時間に対応するステップ数だけ繰り返す。なお各時刻ごとに計算結果を印字したり、記録装置に所望のカーブをプロットさせる。

2.3 同期機特性の表現法

計算盤の発電機単位の内部位相角はデジタル計算機からの指令によりパルス・モータ (PM) で移相器を動かし、内部電圧はデジタル計算機からの指令値と計算盤上の電圧とを差動増幅器 (Diff. Amp) に入れ、その出力をバランス・モータ (BM) の制御巻線に加え、しゅう動形電圧調整器を動かす。

発電機単位の自動化にあたっては、自動電圧調整器、調速機効果を考慮するとともに、比較的長い時間にわたる過渡現象の計算を可能にすることを目指したので、過渡突極性、界磁磁束の変化をも考慮するようになっている。図2は同期機のベクトル図、図3は発電機単位の構成図である。

同期機の電圧電流の間には次式で示される関係が成立する⁽²⁾。

$$\text{界磁回路} \quad p\Delta e'_q = (\Delta E_x - \Delta E_t) / T'_{d0} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{界磁電流} \quad E_t = \frac{X_d - X'_d}{X_q - X'_d} E_q - \frac{X_d - X_q}{X_q - X'_d} e'_q \dots\dots (2)$$

$$\text{自動電圧調整器} \quad \Delta E_x = -G_{VR}(p) \cdot \Delta E_t \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{cases} E_x = E_{x0} + \Delta E_x \\ E_t = E_{t0} + \Delta E_t \\ E_i = E_{i0} + \Delta E_i \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

図2、3および(1)～(4)式において、 E_t は同期機端子電圧、 E_q は横軸同期リアクタンス背後電圧、 E' は直軸過渡リアクタンス背後電圧、 e'_q は E' の q 軸成分で界磁磁束に相当する。 E_t は界磁電流で定常時には界磁電圧 E_x と単位法で表わせば数値的に等しい。 T'_{d0} は回路時定数、 p は微分演算子、 X_d, X_q はそれぞれ直軸、横軸同期リアクタンス、 X'_d は直軸過渡リアクタンス、 $G_{VR}(p)$ は自動電圧調整器の伝達関数である。なお、添字0はじょう乱発生前の値、 Δ を冠した量はじょう乱発生前の値に対する変化分を表わし、 δ は E_q と E' との相角である。

図2は周知のベクトル図であり、図3では E' と E_q を $\cos \delta$ 回路に入れ、出力として $E' \cos \delta = e'_q$ をうる。一方、 e'_q は(1)式に基づいて変化するが時定数 T'_{d0} は数秒程度であるから、その変化は緩慢である。いま、ある時刻における e'_q の値を e'_{qi} とおくと、故障発生や遮断器操作により回路状態が変化して発電機の出力電流が急変しても、 e'_q の値は急変しないから従前の値を保持する。したがって、差動増幅器に e'_q と e'_{qi} とを入力として与え、その出力をバランス・モータの制御巻線に加え、バランス・モータでしゅう動形電圧調整器を駆動する。このようにすれば、出力電流 I が急変すると e'_q もそれに応じて急変するが、電圧制御回路が動作し、 $e'_q = e'_{qi}$ になるようにしゅう動形電圧調整器の二次電圧を調整する。電圧制御動作が終了すると、 E_q は所望の値に達しているから、(2)式により E_t を求めることができる。

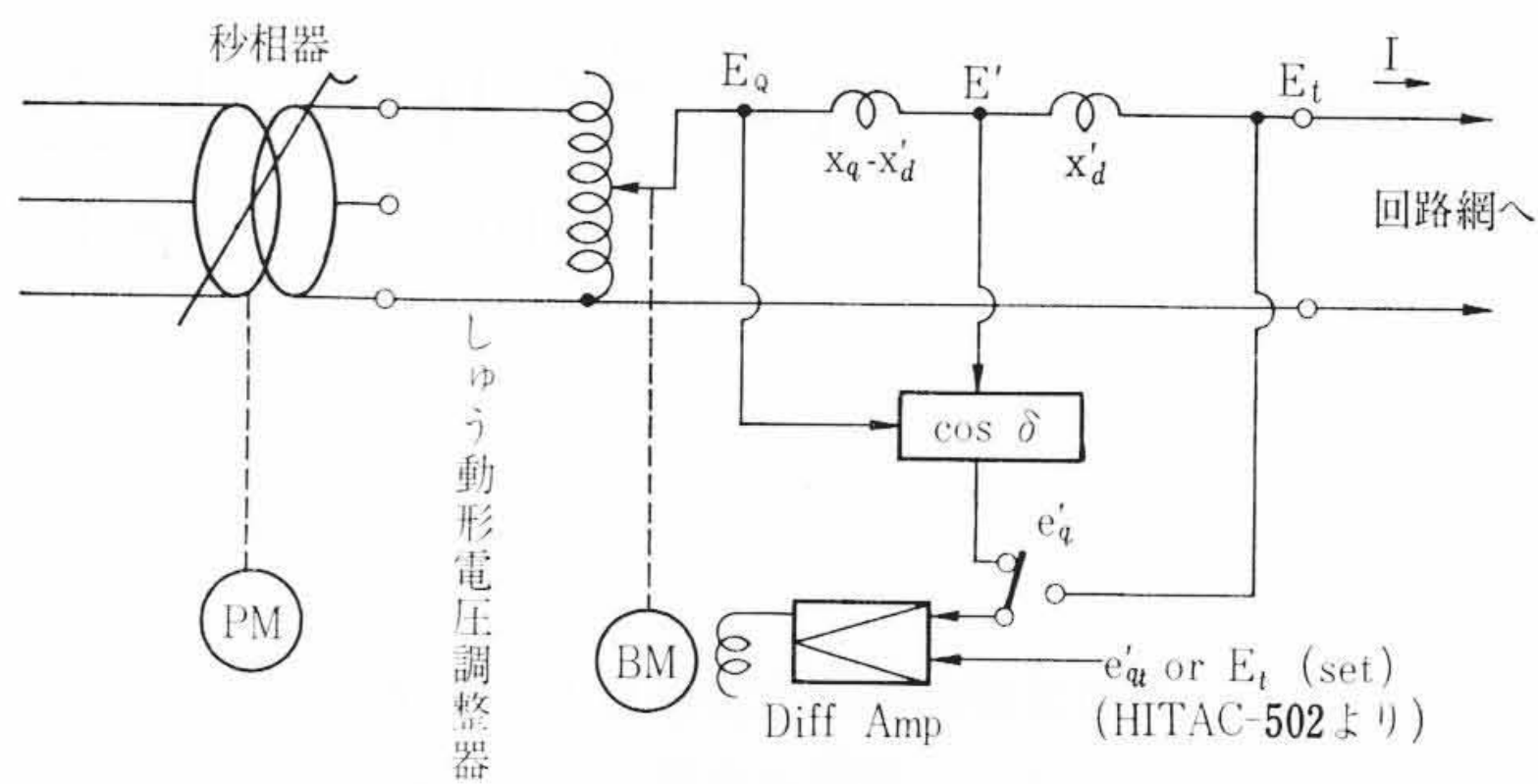


図3 発電機単位構成図

次に e'_q は(1)式に基づいて時間とともに変化する。同式で ΔE_t は(2)、(4)式から求められ、 ΔE_x は(3)、(4)式から計算されるから、 $\Delta e'_q$ を計算することができる。

また、図3で e'_q の代わりに端子電圧 E_t (set) を差動増幅器に接続すれば端子電圧の制御も可能である。

3. 装置の構成

今回の試作では2機—無限大系までの系統構成が可能な装置とした。

3.1 交流計算盤

日立製作所日立研究所の交流計算盤は発電機単位28台をはじめ、負荷、変圧器、線路単位などからなり、基準量として次の値を100%としている。

電圧：100 V、電流：0.1 A、周波数：250 c/s

3.2 デジタル計算機

デジタル計算機 HITAC-502 はデジタル制御を目的とする計算機であって、演算装置、制御装置、制御パネル、磁気ドラム、磁気コアおよび直流電源よりなる本体と、メカニカルテープリーダー、フォトリーダー、タイプライタなどよりなる入出力卓2台で構成され、さらにAD変換器、DA変換器、AD変換器のプリアンプを備えている。

本機のおもな機能は次のとおりである。

演算時間.....加減算 0.33 ms、乗除算 5.2 ms

記憶容量.....磁気ドラム 7,936 語、磁気コア 192 語

スイッチ数.....インプットスイッチ 10、アウトプットスイッチ 30

3.3 スキャナ

スキャナはデジタル計算機からの指令にしたがって、計算盤上に組み立てられた系統内の測定点を順次、入力変換回路に接続するものである。測定点と入力変換回路の接続はリレーの接点によることにしてある。

3.4 電圧変成器(PT)、変流器(CT)

PT、CTの位相誤差は 0.5° 以下であり、絶対値の直線性誤差はいずれも1%以下におさまっており、計算盤回路へのそう入効果が実用上無視できるように励磁インピーダンス、短絡インピーダンスが選定されている。

3.5 入力変換回路

3.5.1 交流電圧、交流電流→直流電圧変換回路

PT 2次電圧を整流しコンデンサに充電する方式をとっている。変換にあたっては、まず、デジタル計算機の指令によりコンデンサにたくわえられた電荷を放電させ、走査前の記憶を除いたのち充電を行ない、一定時間後に読み込みを開始する。

変換比は AC200 V → D.C. 40 V。充、放電に要する時間はそれぞれ5、12 ms である。

CT 2次電流を抵抗に流して電圧に変換してのち直流電圧に変

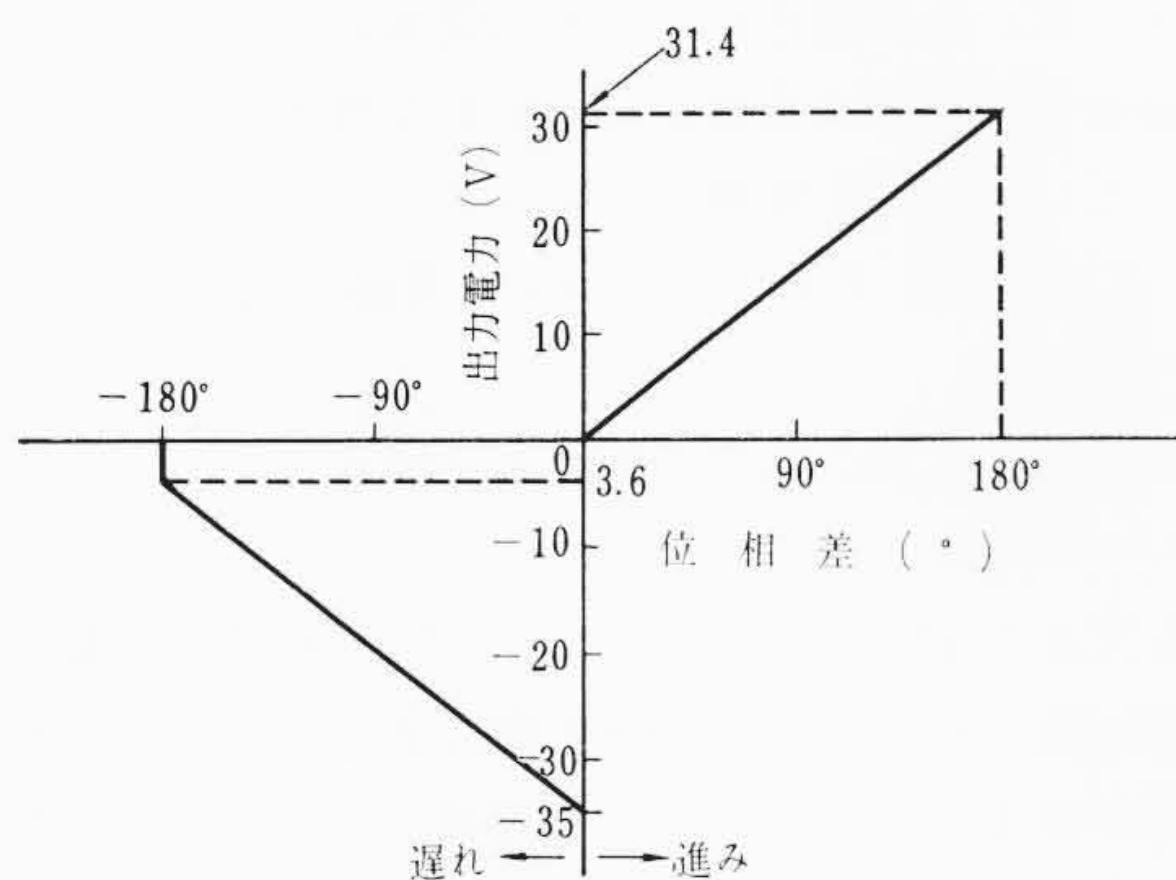


図4 位相→直流電圧変換回路特性

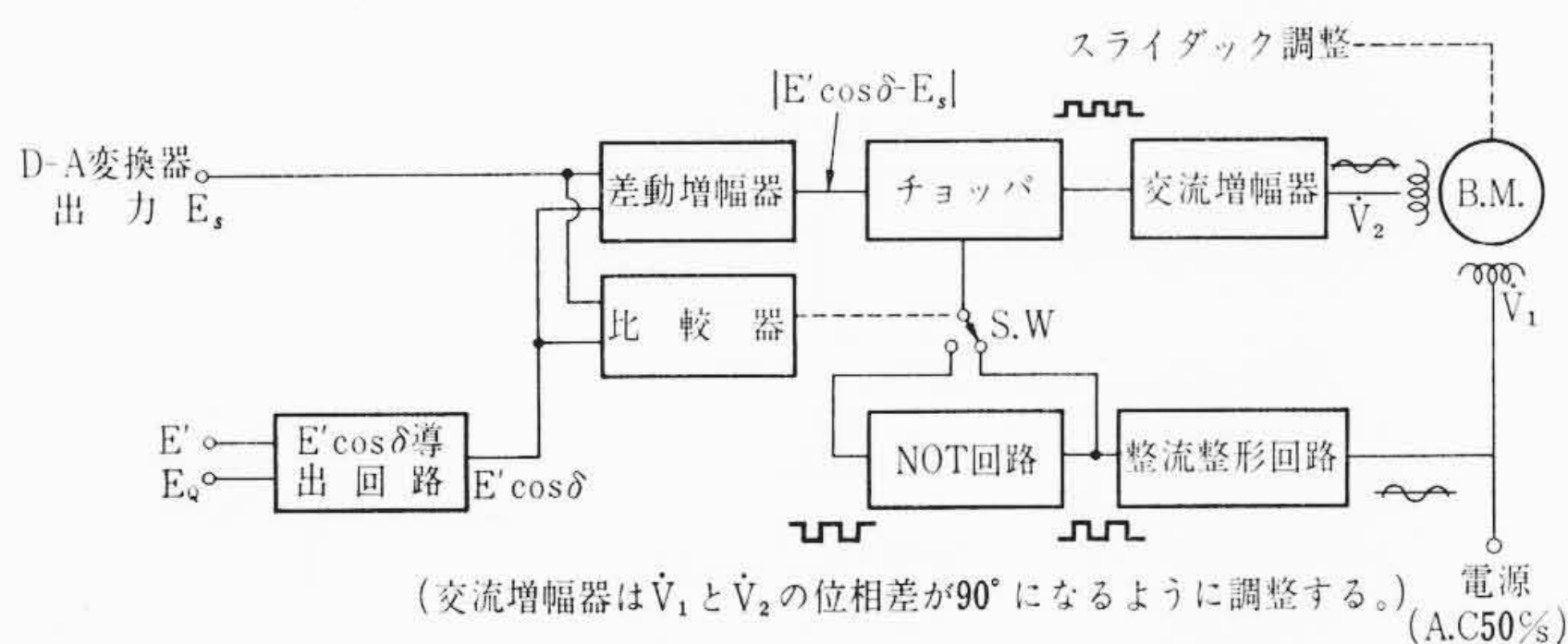


図5 発電機単位電圧制御回路ブロック図

換する。

変換比は A.C. 100 mA → D.C. 40V, A.C. 800 mA → D.C. 40 V の 2 段切換である。

3.5.2 位相→直流電圧変換回路

基準電圧および測定点の電圧電流を整流整形して方形波に変換し、次に基準電圧に対する位相差に等しい幅をもつ方形波をつくり、この幅を直流電圧に変換する。

変換比は、 $180^\circ \rightarrow$ D.C. 31.4 V であるが、進み位相と遅れ位相を区別するために図4に示す特性をもたせている。

3.6 発電機単位制御装置

位相制御は移相器をパルス・モータにより 1 パルス 0.5 度ステップで駆動して行なわれる。

発電機単位の電圧制御はデジタル計算機の指令に従って行なわれる。

デジタル計算機からの指令は D-A 変換器によりアナログ量に変換され直流電圧として与えられる。本制御回路は 2 で説明したように、 $E' \cos \delta$ がこの直流電圧に等しくなるように発電機単位の電圧を調整する。なお電力潮流整定のように発電機端子電圧一定の条件を満足させる場合には端子電圧と D-A 変換器の出力が等しくなるように発電機単位の電圧を調整する。

発電機単位電圧制御回路の動作は図5に示すように、バランス・モータを D-A 変換器の出力 E_s と発電機単位の $E' \cos \delta$ が等しくなるまで回転し、しゅう動形電圧調整器を調整する。

比較器は E_s と $E' \cos \delta$ の大小関係により V_2 の位相を反転させ、バランス・モータを正逆転させるためのものである。

$E' \cos \delta$ 導出回路の動作を図6に示す。進み・遅れ判定回路によるスイッチ操作によって E' の位相が E_q に対しいかなる関係にあるときでも、INHIBIT 回路出力の波高値は $E' \cos \delta$ に等しいから、積分回路によりこの波高値を直流電圧に変換して目的を達している。

3.7 記録装置

数値の記録はコンソールタイプによる。なお本試作シミュレータではアナログ式の記録を主体とし、マルチ・チャンネルの X-Y レ

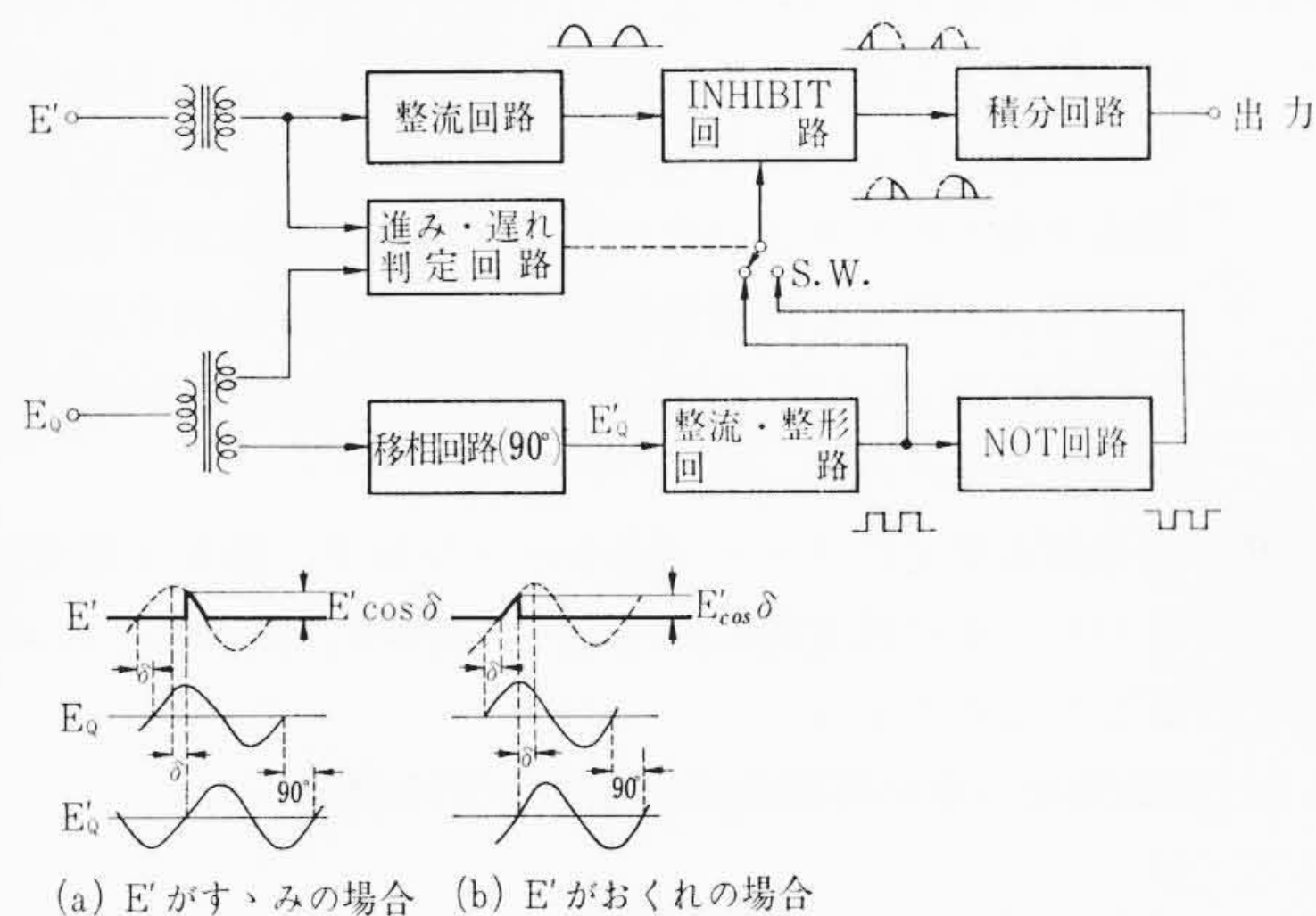
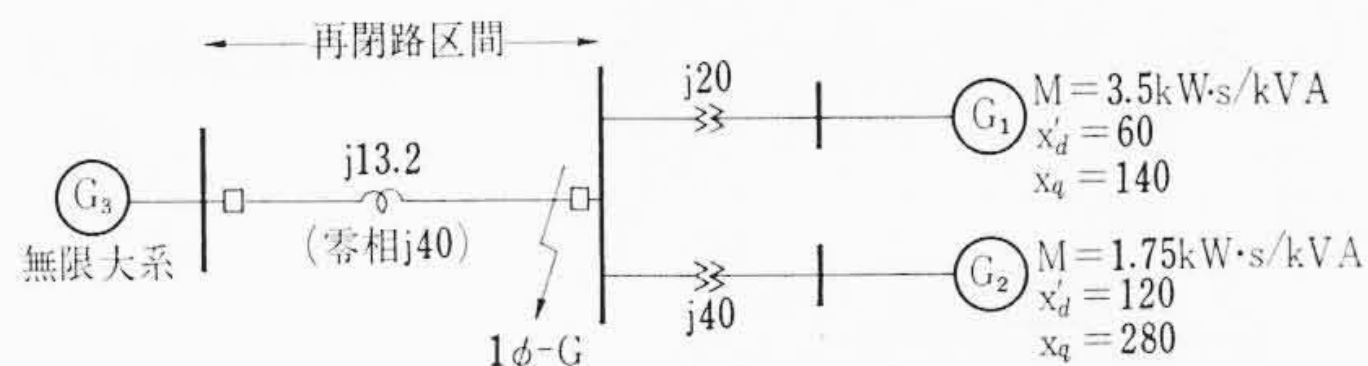

 図6 $E' \cos \delta$ 導出回路動作図


図7 計算系統図 (200 MVA 基準 % 値)

コードを使用している。

4. 解析例

解析例として本計算装置を用いた電力潮流計算と 1 線地絡故障—単相再閉路時の過渡安定度の計算結果を示す。

図7に本章で対象とした 2 機—無限大系の系統図を示す。同図で発電機 G_1 は 100 MVA, G_2 は 50 MVA の容量を持ちおのおの自己容量に対して

x_q : 70%, 変圧器インピーダンス x_{Tr} : 10%, x_d' : 30%, 単位慣性定数 M : 7.5 kW·s/kVA, x_2 : 20%,

送電線 Z_L は 275 kV, 亘長 100 km, 単位長あたりのインピーダンス $j 0.5 \Omega/\text{km}$ (ただし零相インピーダンスは $j 1.5 \Omega/\text{km}$) とする。発電機 G_3 は無限大系である。

4.1 電力潮流計算

電力潮流整定の制限条件としては発電機端子電圧と有効電力を考慮する。有効電力の整定は発電機内部誘起電圧位相に微小変化 $\Delta\theta$ を起こしたときに生ずる出力電力の微小変化 ΔP の変化率を利用して行なう。整定の手順は下記のとおりである。

- (1) 計算盤上に対象系統を構成する。無限大系の端子電圧はあらかじめ定めた大きさ、位相とし、その他の発電機の電圧、位相は適当な値としておく。
- (2) デジタル計算機の D-A 変換器に対応する記憶装置に整定すべき発電機端子電圧の大きさをセットしてバランス・モータを生かし、発電機端子電圧と D-A 変換器の整定値を等しくする。発電機電圧整定に横流補償を考慮する場合には計算盤の電圧を発電機端子の代わりに、横流補償のインピーダンス分だけ発電機内部の点からとる。
- (3) 発電機の内部誘起電圧位相角 θ を動かして θ の微小変化 $\Delta\theta$ に対する有効電力 P の微小変化 ΔP の変化率 $\Delta P/\Delta\theta$ を求める。
- (4) 電力整定値 P_{set} と実際の計算盤上の電力 P_{read} を比較しその差 P_s が $K_1 \cdot (\Delta P/0.5)$ より小さくなるまで発電機位相角を動かす。ここで K_1 は 1~1.5 程度にとる。また動かすべき位相角 θ_s は $K_2 \cdot P_s \cdot (\Delta\theta/\Delta P)$ より 0.5° 単位で求める。ここで K_2 は 0.5~1.0 程度にとる。

- (5) 位相の整定が終わったところで無効電力のチェックを行ない、修正する必要がある場合は整定電圧の大きさを手動で変えて再計算をする。なお電力潮流計算の制限条件として発電機端子電圧の大きさの代わりに無効電力を指定する場合は有効電力の場合と同様電圧の大きさ変化分に対する無効電力の変動分 $\Delta Q/\Delta V$ を求めて自動的に無効電力が指定値になるまでくり返す。

図8に電力潮流整定のフロー・チャートを示す。図9は電力潮流整定時の電力の収束状態を記したもので、 $\Delta\theta=5^\circ$, $K_1=1.4$, $K_2=0.7$ として計算したものである。

4.2 故障発生—单相再閉路時の過渡安定度計算

ここでは

$$\frac{M}{\omega} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = P_M - P_G \quad (5)$$

ただし、 M : 単位慣性定数, θ : 発電機内部誘起電圧位相
 P_G : 発電機有効電力, P_M : 原動機の機械的入力

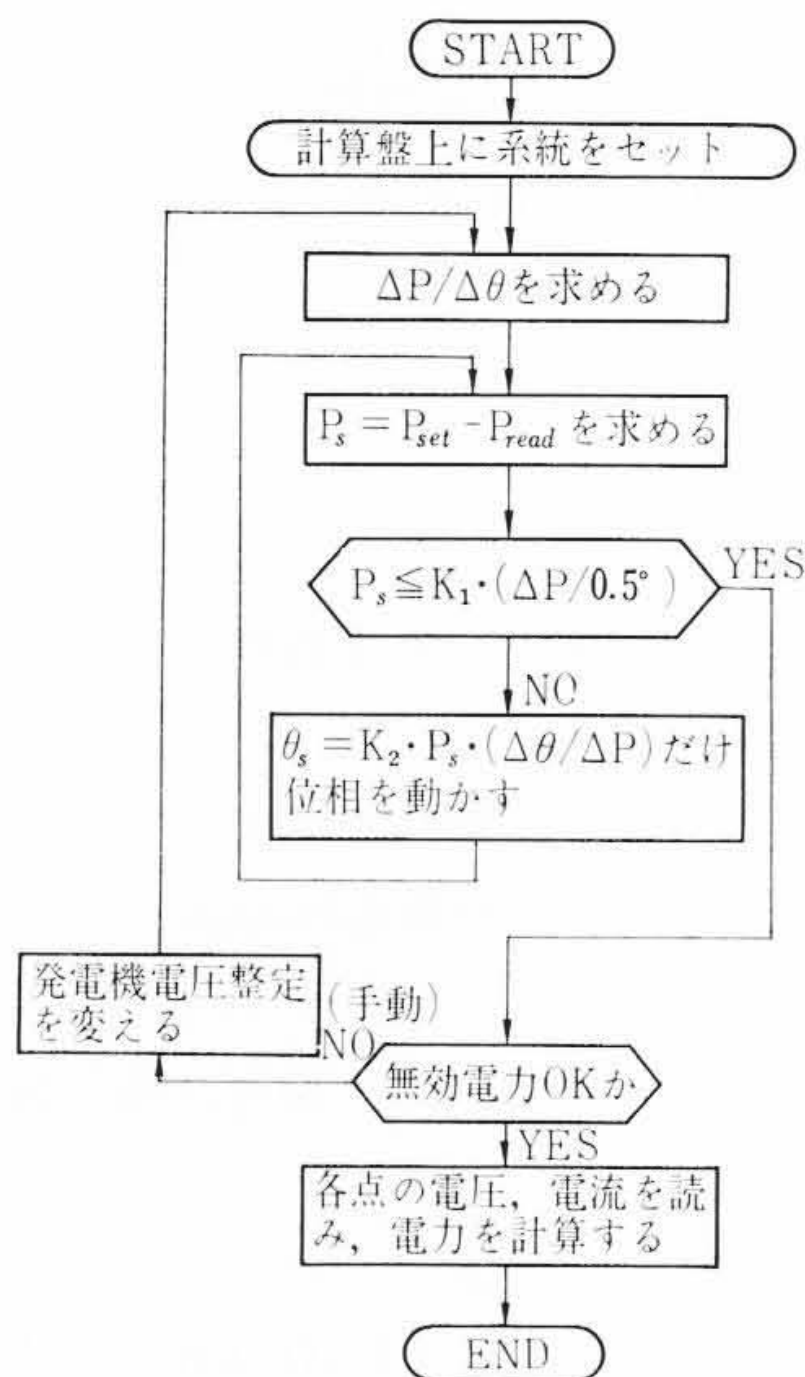


図8 電力潮流計算
フロー・チャート

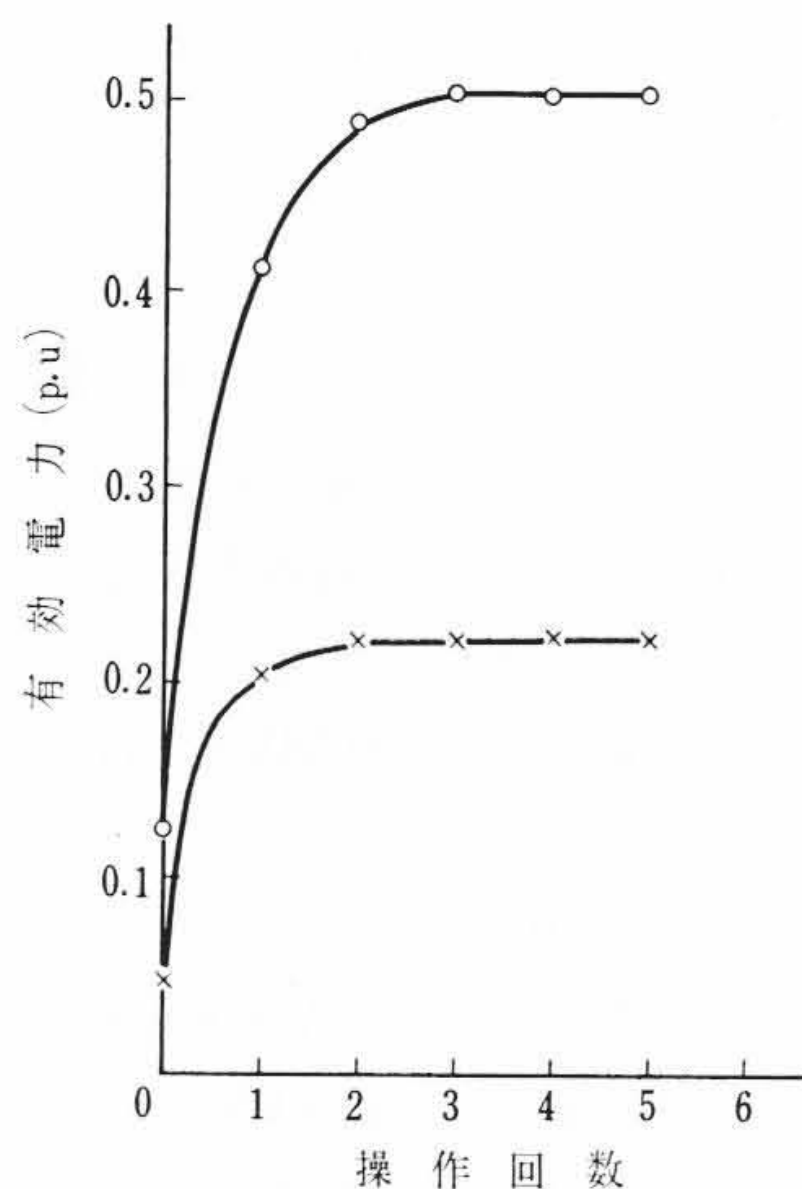


図9 電力潮流の収束状況

から段々法で解いた1線地絡—单相再閉路の過渡安定度計算結果を示す。界磁磁束に相当する電圧 e'_q および機械的入力 P_M は計算期間中を通じて一定し、発電機インピーダンスとしては横軸リアクタンス x_q と直軸過渡リアクタンス x'_d を考慮する。計算の手順は下記のとおりでである。

- (1) 故障前の状態から2で述べたように

$$e'_q = E' \cos \delta \quad (6)$$

を求めてD-A変換器にセットし、交流計算盤から電圧調整回路への入力を $E' \cos \delta$ 側に切り換える。これにより交流計算上の $E' \cos \delta$ は計算期間を通して e'_q に等しく保たれる。

- (2) 計算盤上で故障を発生させる。

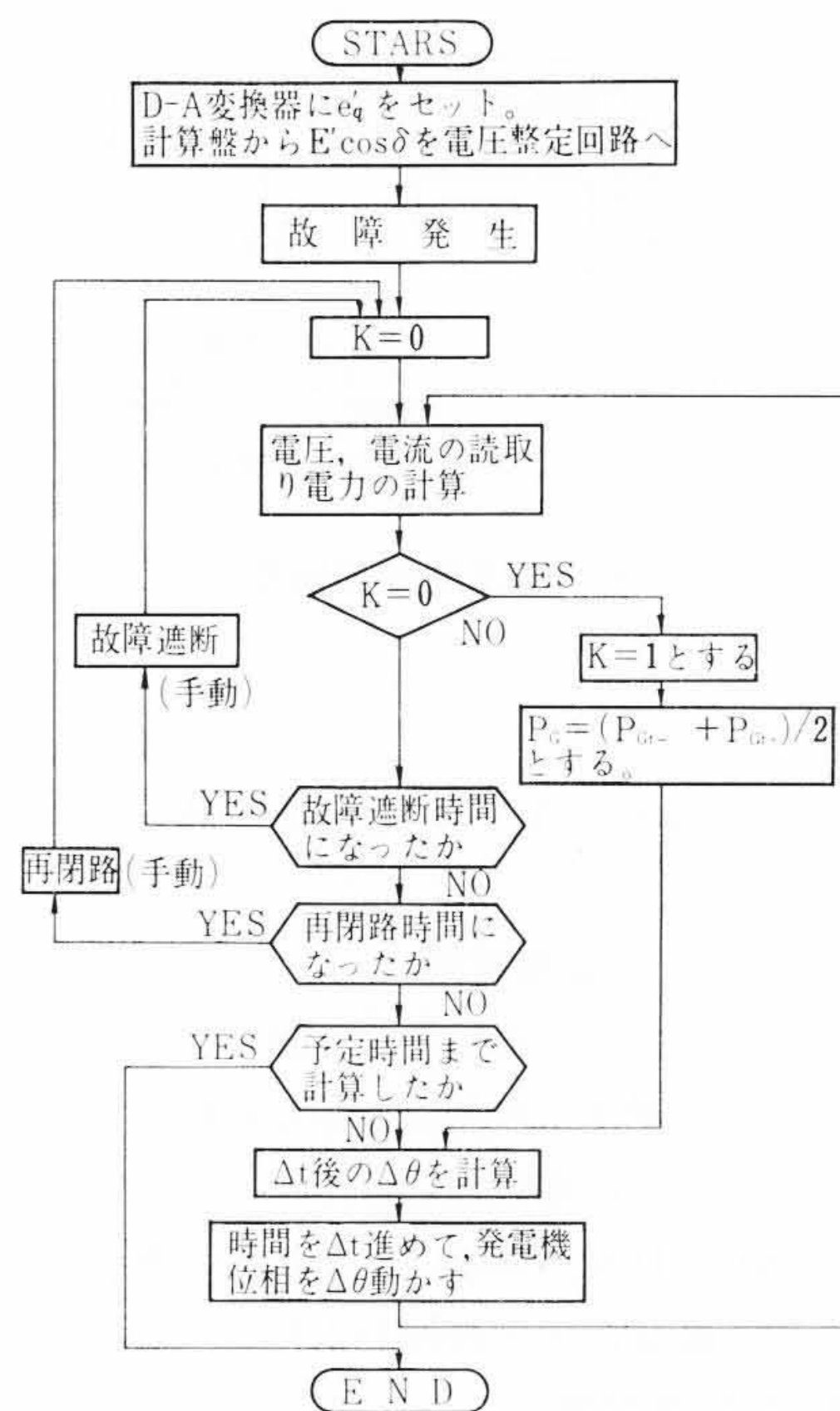


図10 過渡安定度計算フロー・チャート

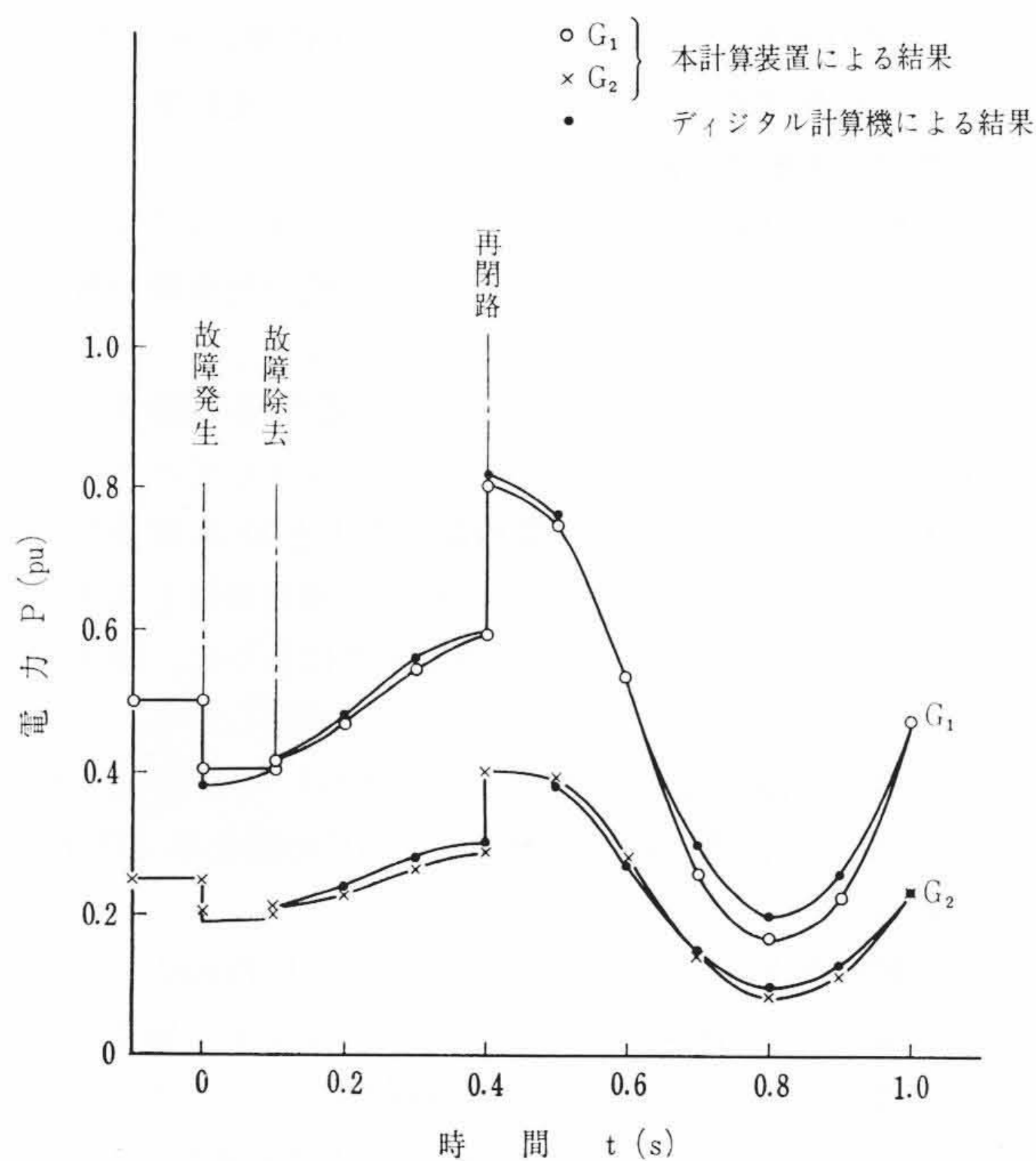


図11 電力変動曲線

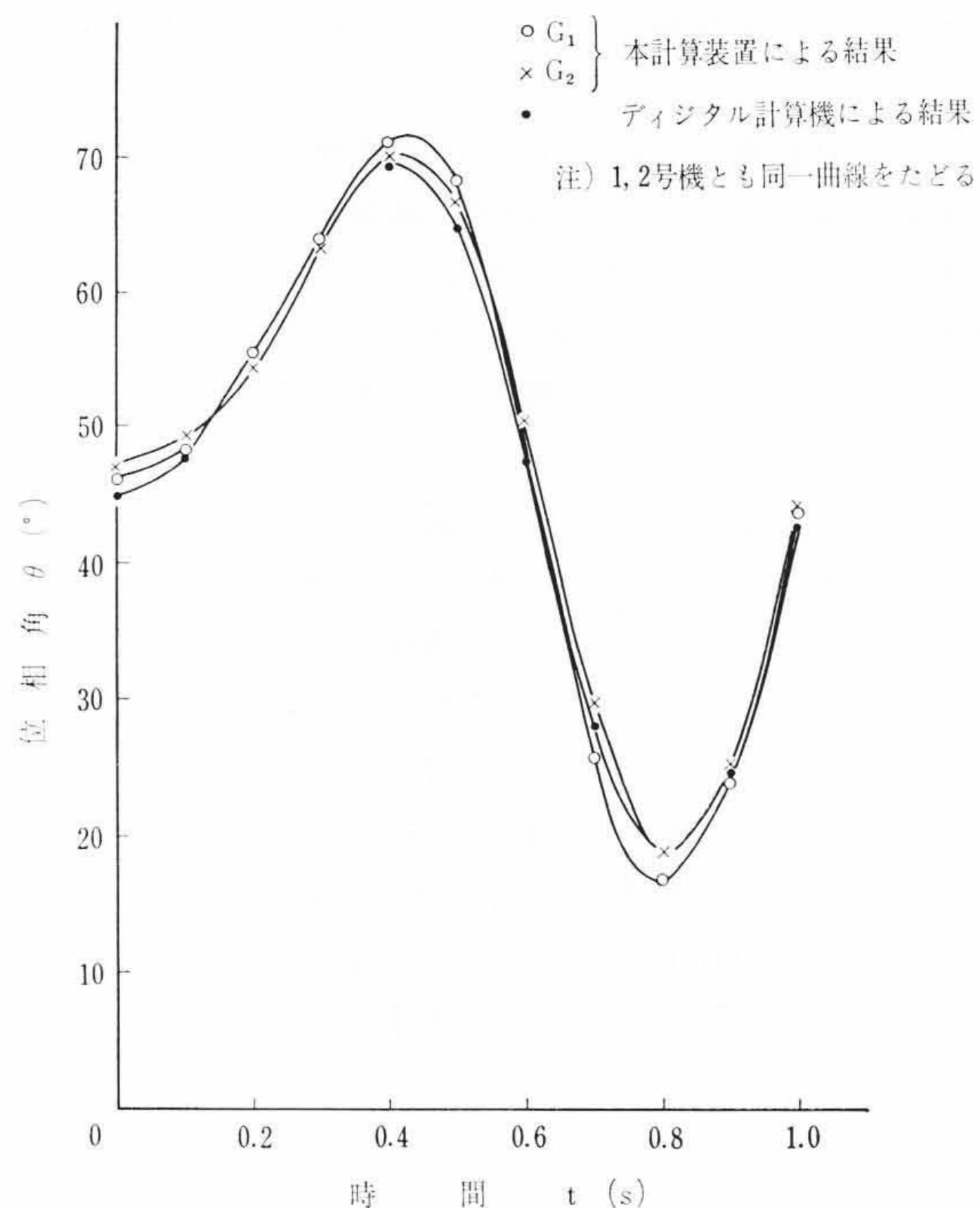


図12 位相角変動曲線

- (3) 故障後の機械的入力と電氣的出力の差から時間きざみ Δt 間の発電機内部誘起電圧位相 θ の変化分 $\Delta\theta$ を求める。
- (4) 時間を Δt 進めて発電機単位の移相器を $\Delta\theta$ だけ動かす。これを故障相の遮断時間まで繰り返す。
- (5) 計算盤上で故障区間または故障相を遮断して(3), (4)の手順を再閉路時間まで繰り返す。
- (6) 計算盤上で再閉路を行なって(3), (4)の手順を計算予定時間まで繰り返す。

図 10 に故障時の過渡安定度計算のフロー・チャートを示す。図 11, 12 は電力, 位相の変動曲線の計算結果である。なお位相の基準点は無限大系電圧である。計算例で故障点は変圧器高圧側出口, 故障継続時間は 0.1 秒, 無電圧時間は 0.3 秒, 計算時間きざみは 0.05 秒とした。なお同図にはデジタル計算機で計算した結果を併記しており, これによれば両計算結果に多少の相違が認められるが, この原因は, 発電機出力の整定誤差, 位相角の最小調整値が 0.5° であること, そのほか各部の誤差に起因するものであるが, 実用上問題ない程度である。

この解析例では界磁磁束の変化, 自動電圧調整器, 調速機効果などは考慮していないが, これらはいずれもデジタル計算機の計算プログラムによって処理できる。

5. 結 言

日立製作所日立研究所にすでに設置されている交流計算盤と制御用デジタル計算機を用い, 両者を結合したハイブリッド計算方式について検討し, 変換装置をはじめとする各種構成単位を試作し種々の演算を行なった結果, ほぼ所期の特性を満足するものを開発することができた。

これらの結果に基づいて改良を加え, 現在さらに大規模の計算装置を製作中であり, 各種系統解析, 保護システムの検討において全デジタル計算では得がたい有力な解析手段を提供するものと信じている。

終わりに臨み, 共同研究を通して種々ご指導を賜わっている電力中央研究所梅津部当任, 尾出室長に対し深甚の謝意を表するとともにごべんたついただいた日立製作所日立研究所小林副所長, 高林部長, 国分工場三田副部長, 中山課長に対し衷心よりお礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) 上之園, 梅津, 若林: オーム 54 1 p. 56 (昭 42-1)
- (2) S. B. Cray: Power System Stability vol. II John Wiley (1947)

Vol. 28

日立造船技報

No. 3

目 次

- ・自由ピストン・ガス発生機設計因子の検討
- ・自由ピストン・ガス発生機における吸気管効果
- ・自由ピストン・ガス発生機の燃焼およびガス流れと性能
- ・実船と模型の相関例および操だ速度と操縦性の関係
- ・可変吸入口つきアングル弁

- ・船内吸音構造の組合せ変化とその効果
- ・エポキシ樹脂製各種機器すえつけ用ライナ
- ・垂直蒸発管における熱伝達と動特性 (第 1 報)
—管内沸騰に関する実験的研究—
- ・強じん铸铁による超高張力铸铁の研究

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60

第 29 卷

日

立

第 12 号

目 次

- ・音楽の城をきづく
- ・情報社会のとびらを開く—オンライン・リアルタイム・システム
- ・原子力発電第 5 回《世界をひらく原子力》
- ・こびりつかないプラスチック“テフロン”
- ・白い郵便車
- ・京浜と都心を結ぶ 12 分・首都高速 2 号目黒線が開通

- ・随筆／私の料理学……………壇 一 雄
- ・未知に挑む／液体ナトリウム技術の開発
- ・COLOUR SPOT\ミクロの虹
- ・話のロビー\用と美の間
- ・HITACHI SCIENCE FICTION／調整
- ・サイエンス・ジョッキー

発行所 日立評論社
取次店 株式会社オーム社書店

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地
振替口座東京 71824 番
東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地
振替口座東京 20018 番