UDC 621.313.322: 621.316.35: 303: 725

論 文
60-B15

二機無限大母線系統における同期発電機の定常特性および脱調現象のシミュレーション

正 員 松 木 純 也 (京大)
 正 員 松 本 吉 永 (京大)
 正 員 岡 田 隆 夫 (京大)

1. ま え が き

電力系統の安定度の解析, 並びに制御を行なううえで, 同期発電機の数学的モデルを用いたシミュレーションの精度を向上させることは, 重要な課題の一つである。従来から多数の研究がなされているが⁽¹⁾, 磁気飽和の取扱, 負荷特性の表現など, なお, 未解決の問題が残されている。

我々は先に⁽²⁾, 発電機の磁気飽和を考慮した Park の式を提案し, これを一機無限大母線系統における同期発電機の定常特性および脱調現象のシミュレーションに適用し, 実験結果と比較して良好な結果が得られた。しかし, 実際の電力系統は多数の同期機によって構成されており, 各発電機の定常時および脱調時の振舞いは一機無限大母線系統とは異なるものと考えられる。従って, 多機系統における個々の発電機レベルでのシミュレーションの精度向上が重要となってくる。

そこで, 本論文では, 多機系統としての特徴を有する最小系統として二機無限大母線系統を取り上げ, 磁気飽和を考慮した Park の式と線路抵抗分を考慮した潮流計算によって, 2 台の発電機の定常特性および脱調過程のシミュレーションを行ない, 実験結果と比較した。良好な一致が得られたが, 特に二機無限大母線系統で現われる減速脱調の様相も適確に模擬しうるこ

とを示している。また, 別の系統構成の場合の脱調現象についても検討している。

2. 供試二機無限大母線系統の概要

実験に用いた同期発電機は 2 台とも, 4 極, 回転界磁形の突極機で, 同一仕様のものである。その定格概要は表 1 に示す通りである。発電機は, 回転子に直結した直流電動機によって駆動される。

図 1 は, 供試二機無限大母線系統の構成を示したものである。両発電機は変圧器を介して定格電圧 3,300 V の模擬送電線路に接続され, 更に変圧器を介して無限大母線 (所内三相電源, 電圧 210 V) に接続されている。2 号機は高压線路の中間点に接続されている。以下この系統を対象に, 実験と解析を行なう。

なお, 本論文では, 発電機が加速 (または減速) し始める時点をも「脱調開始点」, その後発電機出力が零となる時点をも「脱調点」, 両者に区切られた期間を「脱調過程」と呼ぶ。また, 1 号機, 2 号機, 無限大母線に関する量にそれぞれ添字 1, 2 および ∞ を付して

表 1 供試発電機の定格

Table 1. Rating of the tested generator.

項 目	定 格
容 量	6 kVA
電 圧	220 V
電 流	15.7 A
力 率	0.9
回 転 速 度	1,800 rpm
無負荷界磁電流	3.2 A
全負荷界磁電流	5.0 A

Simulation of the Steady State Characteristics and the Loss of Synchronism Phenomena in the Two-machines Connected to an Infinite Bus System. By Junya Matsuki, Member, Yoshinaga Matsumoto, Member & Takao Okada, Member (Faculty of Engineering, Kyoto University).

松木純也: 正員, 京都大学工学部電気工学教室

松本吉永: 正員, 京都大学工学部電気工学教室

岡田隆夫: 正員, 京都大学工学部電気工学教室

図 1 供試二機無限大母線系統

Fig. 1. Tested two-machines connected to an infinite bus system.

示し、これらをまとめて一般的な量として表わすときは、添字を付けずに示す。また、アルファベットの $\cdot$ が書かれた変数は複素数であることを示す。

3. 磁気飽和を考慮した計算式

本章ではまず、磁気飽和効果を考慮した Park の式について説明する。続いて、供試系統に適用した結果をもとに、磁気飽和考慮法の有効性を検討する。

〈3・1〉 磁気飽和を考慮した Park の式⁽²⁾ 供試発電機への適用を前提として、次の仮定を設けた。

(1) 制動巻線は取り外してあり、また回転子、固定子ともに積層鉄心であるので、制動電流は流れないものとし、制動巻線効果は無視する。

(2) 回転子の機械的制動トルクは無視する。

本論文で使用する Park の式および運動方程式を以下に記す。Park の式として、本来の式を若干改良した IEC 標準に基づくものを使用している⁽³⁾。式中の記号の説明を表 2 に示す。

$$p\phi_{ds} = -V_d - \omega \cdot \phi_{qs} - R_a \cdot I_d \quad (1)$$

$$p\phi_{qs} = -V_q + \omega \cdot \phi_{ds} - R_a \cdot I_q \quad (2)$$

$$p\phi_{fs} = V_f - R_f \cdot I_f \quad (3)$$

$$\phi_{fs} = (L_{md} \cdot I_d + L_f \cdot I_f) \cdot f_{sat} \quad (4)$$

$$\phi_{ds} = (L_d \cdot I_d + L_{md} \cdot I_f) \cdot f_{sat} \quad (5)$$

$$\phi_{qs} = L_q \cdot I_q \quad (6)$$

$$P_e = V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q \quad (7)$$

$$P_{el} = \omega (\phi_{ds} \cdot I_q - \phi_{qs} \cdot I_d) \quad (8)$$

$$p\delta = \omega - \omega_0 \quad (9)$$

$$p\omega = \frac{\omega_0}{\omega M} (P_m - P_{el}) \quad (10)$$

これらは両発電機に対して成立する。また、系統の電圧、電流の関係式として次式が与えられる。

$$\mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{V} \quad (11)$$

但し、 $\mathbf{I}$ は電機子電流の列ベクトル、 $\mathbf{Y}$ は系統アドミタンス行列、 $\mathbf{V}$ はノード電圧の列ベクトルで、そ

表 2 記号の説明

Table 2. List of symbols.

記 号	説 明
p	微分演算子
ϕ_{ds}	直軸(d 軸)鎖交磁束 (Wb)
ϕ_{qs}	横軸(q 軸)鎖交磁束 (Wb)
ϕ_{fs}	界磁(f 軸)鎖交磁束 (Wb)
V_d	直軸(d 軸)電圧 (V)
V_q	横軸(q 軸)電圧 (V)
V_f	界磁励磁電圧 (V)
I_d	直軸(d 軸)電流 (A)
I_q	横軸(q 軸)電流 (A)
I_f	界 磁 電 流 (A)
δ	横軸と無限大母線電圧 V_∞ のなす角 (rad)
ω	角 周 波 数 (rad/s)
ω_0	定格角周波数 (rad/s)
M	慣 性 定 数 (J·s)
L_d	直軸(d 軸)インダクタンス (H)
L_q	横軸(q 軸)インダクタンス (H)
L_{md}	直軸(d 軸)相互インダクタンス (H)
L_f	界磁インダクタンス (H)
R_a	電機子抵抗 (Ω)
R_f	界 磁 抵 抗 (Ω)
P_m	発 電 機 入 力 (W)
P_e	発 電 機 出 力 (W)
P_{el}	電氣的トルクを電力の単位で表わしたもの

れぞれ次式のようになる。

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{1\infty} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{2\infty} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_\infty \end{bmatrix} \quad (14)$$

更に、各電流の間には次式が成立する。

$$I_\infty = I_1 + I_2 \quad (15)$$

なお、潮流計算の方法としては、逐次代入法を用いる。無限大母線を基準ノードとして選び、電圧の絶対値 V_∞ を指定する。また 2 台の発電機は (p, V) 指定ノードとして出力 P_1, P_2 と端子電圧 V_1, V_2 を指定する。

以上の式において、発電機のインダクタンスおよび飽和関数は、有限要素法による磁界計算に基づいて算定した値を使用する〔詳細は文献(2)を参照〕。

すなわち、(4)、(5)、(6)式中の界磁インダクタン

ス L_f , 直軸インダクタンス L_d , 横軸インダクタンス L_q , 直軸相互インダクタンス L_{md} の非飽和時の値を供試機について計算すると, それぞれ $L_f=6.80\text{H}$, $L_d=0.0203\text{H}$, $L_q=0.0154\text{H}$, $L_{md}=0.326\text{H}$ となる。また, (4), (5) 式中の飽和関数 f_{sat} は次のようにして求める。

すなわち, (4) 式より,

$$f_{\text{sat}} = \psi_{fs} / \psi_f \quad \dots\dots\dots (16)$$

但し,

$$\psi_f = L_{md} \cdot I_d + L_f \cdot I_f \quad \dots\dots\dots (17)$$

である。ここで, ψ_{fs} は実際の飽和状態における界磁鎖交磁束である。また, ψ_f は飽和を無視したときの界磁鎖交磁束で, 起磁力そのものではないが起磁力に比例する量である。 f_{sat} は, 無負荷で界磁電流 I_f のみを流した場合の ψ_f (これは (17) 式から得られる) と ψ_{fs} (これは有限要素法による磁界計算から得られる) を (16) 式に代入して求める。これを種々の I_f に対して行えば, ψ_f を変数とする飽和関数 f_{sat} が得られる。 f_{sat} は 0 から 1 の間の値をとり, 飽和がないとき 1 である。なお, f_{sat} は (5) 式からも同様にして求められる。

以上のようにして得られた飽和関数 f_{sat} は予め計算機に記憶させておき, シミュレーションを実行するときに, 呼び出して使用する。なお, 横軸については飽和がないものとする。

なお, 文献 (2) で述べたように, 鎖交磁束方程式 (4), (5), (6) 式の代りに, 以下の式を用いて,

$$\psi_{fs} = (L_{md} \cdot I_d + L_f \cdot I_f) \cdot f_{\text{sat}f} \quad \dots\dots\dots (4')$$

$$\psi_{ds} = (L_d \cdot I_d + L_{md} \cdot I_f) \cdot f_{\text{sat}d} \quad \dots\dots\dots (5')$$

$$\psi_{qs} = L_q \cdot I_q \cdot f_{\text{sat}q} \quad \dots\dots\dots (6')$$

界磁軸, 直軸, 横軸の飽和関数 $f_{\text{sat}f}$, $f_{\text{sat}d}$, $f_{\text{sat}q}$ を上述と同様の方法で有限要素法による磁界計算を利用して求められる。しかし供試機では, $f_{\text{sat}f} \equiv f_{\text{sat}d}$, $f_{\text{sat}q} = 1.0$ であったので, 本論文では初めから飽和は $f_{\text{sat}} (\equiv f_{\text{sat}f} = f_{\text{sat}d})$ のみ考慮することにした。

従来の Park の式を用いた解析では, 発電機のインダクタンスや飽和関数は, 種々の定数測定法や実験によって得られた値を, いわば寄せ集めて使用しておりこれが実験結果と合わない一因となっている。これに対し上述の方法は, これらの値を有限要素法による磁界計算結果から一貫して求めており, 物理的関連が明確で信頼度も高いと言える。また, 発電機の形状と材質がわかれば計算可能なので, 普遍性もある。

〈3・2〉 磁気飽和考慮法の検討 図 1 に示す供試系統において両発電機の界磁電流 $I_{f1} = I_{f2} = 5.0\text{A}$ 一

表 3 発電機出力変化時の飽和関数の値
(I) $I_{f1} = I_{f2} = 5.0\text{A}$ のとき

Table 3. Values of the saturation function at the various values of generators' outputs (P_1, P_2). (I) $I_{f1} = I_{f2} = 5.0\text{A}$

$P_1 \backslash P_2$	0	1	2	3	4	5	6
0	0.421 0.425	0.421 0.427	0.424 0.429	0.429 0.432	0.437 0.438	0.451 0.446	0.469 0.459
1	0.422 0.422	0.422 0.424	0.425 0.427	0.431 0.431	0.440 0.438	0.455 0.446	0.475 0.464
2	0.422 0.424	0.424 0.426	0.426 0.430	0.433 0.434	0.443 0.443	0.459 0.456	0.489 0.470
3	0.424 0.425	0.425 0.430	0.429 0.435	0.435 0.442	0.448 0.455	0.465 0.472	
4	0.427 0.433	0.428 0.437	0.432 0.444	0.440 0.454	0.454 0.472		
5	0.429 0.442	0.430 0.446	0.436 0.457	0.446 0.475			
6	0.433 0.455	0.435 0.462	0.442 0.479				
7	0.435 0.470	0.442 0.488					

上段は 1 号機・下段は 2 号機の飽和関数

表 4 発電機出力変化時の飽和関数の値
(II) $I_{f1} = I_{f2} = 2.0\text{A}$ のとき

Table 4. Values of the saturation function at the various values of generators' outputs (p_1, p_2). (II) $I_{f1} = I_{f2} = 2.0\text{A}$

$P_1 \backslash P_2$	0	1	2	3
0	0.766 0.749	0.771 0.757	0.787 0.775	0.821 0.793
1	0.771 0.749	0.775 0.762	0.791 0.780	0.829 0.802
2	0.778 0.771	0.782 0.782	0.798 0.793	0.856 0.829
3	0.784 0.793	0.791 0.804	0.818 0.840	
4	0.795 0.835	0.809 0.870		

上段は 1 号機・下段は 2 号機の飽和関数

定のとき, 1 号機出力 P_1 , 2 号機出力 P_2 の種々の組み合わせに対してシミュレーションを実行し, 各運転状態における f_{sat} の値を求める。その結果を, 表 3 に示す。同表において, 上段は 1 号機の飽和関数 f_{sat} の値であり, 下段は 2 号機の飽和関数 f_{sat} の値である。また比較のために, $I_{f1} = I_{f2} = 2.0\text{A}$ 一定のときの飽和関数の値を表 4 に示す。

表 3 および表 4 により, 次のことがわかる。

(1) 同じ P_1, P_2 の組合せでも, 界磁電流が大きいかほど f_{sat} の値は小さくなる。すなわち, 飽和の度合いが大きくなる。これは無負荷飽和特性曲線から説明できる。

(2) 界磁電流一定のとき、出力増加に伴ない飽和の度合いが小さくなる。これは出力増加とともに遅れ電機子電流が増加〔後出の図2(a), (c)参照〕し、それによって直軸磁束が減少するためと考えられる。

(3) 一方の発電機の出力が一定でも、他方の発電機の出力が増加すれば、その影響を受けて、出力一定側の発電機の飽和の度合いも減少する。これは、一機系にはない多機系統特有の現象である。

以上のように、本論文の磁気飽和考慮法は簡略法ではあるが、界磁電流の大きさのみならず発電機出力の変化による飽和の度合いの変化、更に他の発電機の出力変化による飽和の度合いの変化もよくとらえており、二機無限大母線系統における実際の発電機の運転状態に適応した飽和考慮法であることがわかる。

しかしながら飽和の機構は複雑である。その厳密な説明は、なお今後の課題として残されている。

以上で、磁気飽和を考慮した二機無限大母線系統の計算式が決定したので、以下、これを用いて実験とシミュレーションの比較を行なう。

4. 二機無限大母線系統の実験とシミュレーション

本章では、図1に示した供試二機無限大母線系統における定常特性および脱調現象の特徴を実験結果をもとに考察し、シミュレーションによって確認する。また、別の系統構成の場合の脱調についても説明する。

〈4・1〉 定常特性 図1の系統において、1号機および2号機の界磁電流 I_{f1} および I_{f2} をともに5.0 A一定に保つ。これは全負荷定格界磁電流の大きさである。この状態で、一方の発電機の出力を一定に保ち他方の発電機の出力を0 kW から1 kW 単位で定常安定度限界直前まで上昇させ、その都度、定常状態の端子電圧、電機子電流、相差角、発電機内部の空隙磁束などを測定、記録する。

一方、シミュレーションは次のように行なう。すなわち、2台の発電機の P (出力)、 V (端子電圧) および I_f (界磁電流) を指定し、また無限大母線電圧 V_∞ を与えて潮流計算を行ない、Park の式の微分項を無くした定常方程式を満たすように、繰返し計算を行なう。

定常特性は、一定に保つ出力の大きさに無関係に同様の傾向を示すので、以下、2号機出力 $P_2=1.0$ kW 一定で、1号機の出力 P_1 を増加させた場合について述べる。

図2(a)は電機子電流の変化を示したものである。同図以後、○, △ はそれぞれ1号機, 2号機の測定値を

図2 二機無限大母線系統の定常特性

Fig. 2. Steady state characteristics in the two-machines connected to an infinite bus system.

プロットしたものであり、実線は線路抵抗分を考慮したときの計算値、破線は線路抵抗分を無視したときの計算値である。 I_1 , I_2 ともに P_1 の上昇に伴い増加するが、出力を一定に保つ2号機の方が、出力を上昇させる1号機に比べて増加の割合は緩やかである。また

図 3 Typel 1 (両発電機とも加速脱調) の脱調過程における端子電圧 (V), 電機子電流 (I), 発電機出力 (P), 回転速度 (S), 相差角 (δ), 相差角 (θ) の変化

Fig. 3. Changes of terminal voltages, armature currents, generator outputs, rotating speeds, phase angles δ , and phase angles θ at the loss of synchronism process of Type 1 (both generators step out acceleratingly.)

線路抵抗分を考慮しないと, P_1 が 4 kW 付近から上で計算値が測定値より大きくなる。線路抵抗分を考慮すると計算値は測定値と良く一致する。

図 2 (b) は, 相差角 δ (内部誘導起電力 E と無限大母線電圧 V_∞ のなす角) の変化を示したものである。変化の傾向は, 電機子電流の場合と同様である。線路抵抗分を考慮しないと, P_1 が 4 kW 付近から上で計算値が測定値より大きくなる。

図 2 (c) は, 相差角 θ (内部誘導起電力 E と電機子電流 I のなす角) の変化を示したものである。相差角 δ の場合と比べて測定値と計算値にかなりの相違が見られる。これは電機子電流が小さいとき, 変圧器のヒステリシスの影響で電流波形がひずむために, 測定値に誤差が生じたために考えられる。実際, 電機子電流

が大きくなるとヒステリシスの影響は軽減され, 計算値と測定値の差は小さくなり, 特に後述する脱調過程では良好な一致が見られる。

図 2 (d) は, 空磁束の機軸成分 ϕ_d と直軸成分 ϕ_q の描く軌跡を示したものである。出力を上昇させる 1 号機の方は, 出力上昇とともに ϕ_{d1} は電機子反作用 (遅れ力率) のために減少し, ϕ_{q1} は, $P \propto \phi_f \cdot \phi_q$ (但し, ϕ_f は界磁磁束) の関係があるので, 界磁電流が一定であれば出力 P 上昇とともに増加する⁽⁴⁾。出力を一定に保つ 2 号機の方は, ϕ_{d2} はほぼ一定で, ϕ_{q2} は電機子反作用 (遅れ力率) により減少する。測定値と計算値はほぼ一致しているが, 2 号機の $\phi_{q2} - \phi_{d2}$ 軌跡においても若干のずれが見られる。これは相差角 θ における測定誤差の場合と同様の原因によるものと考え

図 4 Type 2(一機減速, 一機加速脱調) の脱調過程における端子電圧 (V), 電機子電流 (I), 発電機出力 (P), 回転速度 (S), 相差角 (δ), 相差角 (θ) の変化

Fig. 4. Changes of terminal voltages, armature currents, generator outputs, rotating speeds, phase angles δ and phase angles θ at the loss of synchronism process of Type 2 (one generator steps out deceleratingly, and the other acceleratingly).

られる。

以上より, 線路抵抗分を考慮すると計算値は測定値と良く一致することが確かめられた。以下の計算では線路抵抗分を考慮してシミュレーションを行なう。

〈4・2〉 脱調過程のシミュレーション 一機無限大母線系統においては, 発電機は加速しながら脱調する⁽⁴⁾。しかし二機無限大母線系統では, 2種類の脱調のタイプが見られる。すなわち, 二機とも加速脱調する場合と, 一機は加速脱調, 他機は減速脱調する場合がある。

減速脱調は低出力のときに起り, 図1の系統で両発電機の界磁電流 $I_{f1}=I_{f2}=5.0\text{A}$ 一定という条件では, 2号機は出力 2.0kW 以下のとき, 1号機は出力 0.0

kW 付近のとき, それぞれ減速脱調している。これ以外の出力では全て加速脱調している。

両発電機とも加速脱調する例として, 界磁電流 $I_{f1}=I_{f2}=5.0\text{A}$ 一定で, 2号機出力 $P_2=4.0\text{kW}$ 一定に保ち, 1号機の機械入力 P_{m1} を増加させて1号機を脱調に至らせた場合を取り上げ, 1号機が加速しつつ脱調していく影響を受けて2号機も加速脱調していく過程についてシミュレーションを行ない, 実験と比較する。

続いて, 2号機が減速脱調し, 1号機が加速脱調する例として, $I_{f1}=I_{f2}=5.0\text{A}$ 一定で, $P_2=1.0\text{kW}$ 一定に保ち, P_{m1} を増加させて1号機を加速脱調させた場合を取り上げ, 同様の検討を行なう。

シミュレーションは、次の手順で行なう。

(1) 界磁電流 I_{f1} , I_{f2} , 出力 P_1 , P_2 , 端子電圧 V_1 , V_2 および無限大母線電圧 V_∞ を指定し、潮流計算および微分項を零とおいて得られる Park の式の定常方程式を用いて、各変数の初期値を設定する。

(2) 実験と同様に機械入力 P_{m1} を徐々に増加させておき Runge-Kutta-Gill 法で微分方程式を解く。

ここで、 P_{m1} の増加の程度は、1 秒間における P_{m1} の増加量 ΔP_{m1} で表わし、実験結果から求めた値 $P_{m1}=0.05(\text{p.u./s})$ として計算を行なう。R-K-G 法の時間刻み幅は 1ms としたが、これより小さくした場合でも差は認められなかった。

図3は、両発電機とも加速脱調する場合 (Type 1 と呼ぶことにする) の脱調過程の諸量の変化を示したもので、(a) は実験結果、(b) はシミュレーションの結果である。実験結果を見ると、両発電機ともに、電圧は減少して極小値を取り、電流は増加して極大値を取る。また、両発電機出力はともに減少し、加速しながら脱調する (出力 P が零となる)。相差角 δ は両発電機ともに増大していく。これらの諸量の変化の傾向はシミュレーションによっても良好に模擬されている。

同様に図4は、2号機が減速脱調し、1号機が加速脱調する場合 (Type 2 と呼ぶことにする) の脱調過程の諸量の変化を示したものである。

Type 2 は Type 1 と違い、1号機出力 P_1 は減少して1号機は加速を始めるが、2号機出力 P_2 は急激に増加して2号機は減速する。また相差角 δ_1 は増加し、 δ_2 は減少する。以上のような傾向は、シミュレーションによって良好に模擬されている。

(注) 数字は発電機の自己容量ベースのP.U.値

図5 別の系統構成図

Fig. 5. Another system configuration.

〈4.3〉 別の系統構成の場合 これまでは図1の系統構成の場合について検討してきたが、系統構成によっては、一台しか脱調しない場合があると考えられる。次に、2号機を高圧線路の中間ではなく、無限大母線側の変圧器の高圧側に接続した図5の系統構成の場合について言及する。

一例として、 $I_{f1}=I_{f2}=5.0\text{A}$, $P_2=4.0\text{kW}$ 一定に保ち、1号機の機械入力 P_{m1} を増加させて脱調に至らせた場合を考える。このとき、図6(a)の実験結果からわかるように、1号機は出力が減少し、加速しながら脱調する。相差角 δ_1 も増大している。これに対して、2号機は安定で出力は零とならず、多少振動するが同期は維持しており脱調には至っていない。相差角 δ_2 も多少振動する程度である。従って、この系統は第1の系統に比べて、2機の相互影響力が弱い系統であると言える。図6(b)は、これをシミュレーションした結果である。上述の特徴が良く模擬されていることがわかる。

なお、図3、図4、図6の電気出力 P のグラフで、

図6 図5の系統における脱調過程

Fig. 6. Loss of synchronism process at the system shown in Fig. 5.

$P_1 + P_2 > P_{\text{max}}$ ($t=0$) となっているのは、変圧器および線路の抵抗分の影響である。

5. む す び

以上本論文では、二機無限大母線系統における同期発電機の定常特性および脱調過程の諸量の変化についてシミュレーションを行ない、実験結果と比較した。

得られた結果を要約すると、次のようになる。

(1) 先の論文で提案した発電機の磁気飽和を考慮した Park の式によるシミュレーションは、線路抵抗分を考慮した潮流計算を加味することにより、そのまま、二機無限大母線系統に適用可能であることを示した。特に、系統内の他の発電機の運転状態の変化による飽和の度合いの変化を、近似的にはあるが把握できることを示した。

(2) 二機無限大母線系統における発電機の脱調は、一機無限大母線系統の場合と異なり、両発電機とも加速脱調するタイプと、一機が減速脱調し他機が加

速脱調するタイプとが見られるが、両者ともにシミュレーションによって良好に模擬し得ることを示した。

(3) 別の系統構成では、一機のみ加速脱調するケースが生じるが、この場合も実験とシミュレーションは良く合致することを示した。

終りに、日頃御指導を賜わる、本学名誉教授 上之園 親佐先生に感謝の意を表します。

(昭和 59 年 4 月 25 日受付, 同 59 年 7 月 30 日再受付)

文 献

- (1) 系統安定化専門委員会: 「電力系統の安定度」電気協同研究 34, 5 (昭 54-1)
- (2) 松木・永尾・岡田・上之園: 「磁気飽和を考慮した同期発電機の定常特性および脱調現象のシミュレーション」電学論 B, 104, 33 (昭 59-1)
- (3) IEEE Committee Report: "Recommended phasor diagram for synchronous machines", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.* PAS-88, No. 11, 1593 (1969)
- (4) 上之園・松木・岡田: 「空けき磁束による三相同期発電機の脱調現象の解析」電学論 B, 100, 41 (昭 55-1)