三相かご形誘導機を用いた新しい自己調節形自励单相誘導発電機

正 員 深 見 正 (金沢工大)

学生員 今 村 道 徳 (金沢工大)

正 員 宮 本 紀 男 (金沢工大)

A New Self-Regulated Self-Excited Single-Phase Induction Generator Using a Squirrel Cage Three-Phase Induction Machine

Tadashi Fukami, Member, Michinori Imamura, Student Member, Toshio Miyamoto, Member (Kanazawa Institute of Technology)

A new single-phase capacitor self-excited induction generator with self-regulating features is presented. It is suitable for use as a portable power source with a power rating of several kilowatts driven by a constant-speed prime mover such as oil engine. The new generator employs a squirrel cage three-phase induction machine, and a single-phase load is connected externally across the three-phase terminals of the stator winding through series and parallel capacitors. The series and parallel capacitors provide self-regulating and self-exciting features. The voltage regulation of the generator accompanying the load variation is very small due to the effects of the capacitors in both resistive and inductive load conditions. Additionally, since a Y-connected stator winding is used, the waveform of the output voltage becomes a sinusoidal wave.

In this paper the system configuration and the operating principle of the new generator are explained, and the basic characteristics are also investigated by means of a simple analysis and detailed experimental results with a laboratory machine.

キーワード：单相誘導発電機，コンデンサ自励方式，ポータブル発電機

1. ま え が き

本論文は，数 kW 程度の单相ポータブルエンジン発電機に，三相かご形誘導機を用いて，電圧変動が無制御で補償できる“自己調節形”の新しい自励单相誘導発電機を提案し，その原理と基礎特性を実験により明らかにしたものである。

单相ポータブルエンジン発電機は，土木・建設工事，レジャーあるいは非常用の電源として幅広く活用され，数百 W から 5 kW 程度のものが市販されている⁽¹⁾⁽²⁾。このような発電機は，より構造が簡単で，信頼性・耐久性ともに高いことが要求される。

コンデンサ自励式の单相誘導発電機^{(3)~(5)}は，かご形誘導機をそのまま利用できるので，单相同期発電機に比べて，構造が簡単・メンテナンスフリーであり，頑丈・安価な特長がある。このため，構造的にはポータブルエンジン発電機に非常に適している。しかし，電圧変動が大きく，特に誘導性負荷の場合に問題となり，ポータブルエンジン発電機にはほとんど使用されていないのが現状である。

そこで，著者らは，三相かご形誘導機を用いて上記の問

題点を改善した従来にない新しい構成の自励单相誘導発電機を提案する。本発電機は，固定子の三相端子に自己励磁用のコンデンサを負荷に対して直並列に接続するもので，次の特長を有する。

(1) 固定子巻線を三相交流で自己励磁するため，従来の单相交流で励磁する方式^{(3)~(9)}に比べて同じギャップ磁束に対して励磁電流が少なくてすみ，効率的に励磁起磁力が確保できる。また，負荷電流に直接干渉されない励磁回路を有するため，誘導性負荷時にも強い励磁系を構成することができる。

(2) 自己励磁用のコンデンサの一部が出力端子の電圧変動を補償する電圧補償用のコンデンサとしても働くため，特別な制御装置なしに無制御でほぼ一定の出力電圧を得ることができる。

(3) 固定子巻線が三相星形接続であるため，従来の单相巻線構造^{(3)~(9)}の発電機に比べて，高調波電圧の抑制が容易で，出力波形を正弦波にできる。

したがって，本発電機を採用すれば，信頼性・耐久性ともに高く，高性能な单相ポータブルエンジン発電機が構築できる。

以下、従来方式の問題点を挙げ、その改善点を明確にするとともに、本発電機の構成と原理、実験機による発電特性について述べる。

2. 従来の自励単相誘導発電機とその問題点

〈2・1〉 基本構成 従来の自励単相誘導発電機^{(3)~(9)}は、固定子巻線の構造により次の二つのタイプに分けられる。

(1) 固定子巻線が単相構造で、この巻線に自己励磁用のコンデンサと負荷を並列に接続する方式。

(2) 固定子巻線が二相構造で、一相に自己励磁用のコンデンサ、他の一相に負荷を接続する方式。

いずれの方式も発電原理は同様で、回転子を外力により駆動すると、回転子鉄心の残留磁気とコンデンサに供給する進み電流で自己励磁し、出力端子に電圧が確立する。このような自励単相誘導発電機は、コンデンサに流れる進み電流が直接励磁電流となり、出力電圧特性は、発電機の飽和特性、固定子巻線の構造、コンデンサの接続法および負荷の種類により異なる。

〈2・2〉 出力電圧特性 さきの(1)、(2)の発電機の出力電圧特性は、負荷が抵抗の場合、直流分巻発電機のそれと同様の变化を示し、負荷の増加とともに減少する垂下特性となる。しかし、負荷が誘導性の場合、(1)と(2)の発電機では出力電圧特性が異なる。すなわち、(1)の発電機は、励磁電流が負荷電流によって直接干渉される構成であるため、出力電圧が負荷の増加とともに消滅し、発電が停止する。一方、(2)の発電機は、固定子巻線の構成上、励磁回路と負荷回路が電氣的に独立であるため、励磁電流が負荷電流によって直接干渉されない。このため、(1)の発電機よりも電圧変動の割合は小さくなる。しかし、いずれにせよそのまの構成では電圧変動が大きくなり、特に誘導性負荷の場合に問題となり、適用負荷が限定される。

〈2・3〉 従来の電圧補償法 (1)、(2)の発電機の電圧変動を補償するには、発電機の進み電流を調節することが考えられ、これまで、次のような方式が提案されている。

(i) 複数のコンデンサを自己励磁用のコンデンサと並列に接続し、これらを負荷に応じて段階的に切り換える方式⁽⁶⁾。

(ii) 双方向性のサイリスタを用いて発電機の進み電流を連続的に制御する方式⁽⁷⁾。

(iii) 負荷変化とともに発電機の進み電流を自動的に調節できるように、負荷と直列にコンデンサを接続し、これによる直巻効果を利用する方式(自己調節形)⁽³⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

このうち上記(i)、(ii)の方式⁽⁶⁾⁽⁷⁾は、負荷に追従して発電機の進み電流を制御する必要があるため、構成が複雑で、ポータブルエンジン発電機には不向きである。これらに対して、上記(iii)の方式⁽³⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾は、負荷と直列にコンデンサを接続するだけの簡単なもので、構成上、有利である。図1(a)、(b)は、(iii)の方式を発電機(1)および(2)に適用

図1 従来の自己調節形自励単相誘導発電機
Fig.1. Conventional self-regulated self-excited single-phase induction generators.

した場合の回路例を示す。

しかしながら、(iii)の方式も次のような問題点がある。すなわち、図1(a)の発電機⁽³⁾は、負荷が誘導性の場合、発電機の進み電流が負荷電流によって直接相殺され、出力電圧が急速に消滅する。このため、 C_s による直巻効果が有効に利用できず、出力電圧の変動が大きくなる欠点がある。一方、図1(b)の発電機⁽⁸⁾⁽⁹⁾は、負荷回路と励磁回路が電氣的に独立な構成であり、誘導性負荷時でも励磁電流が直接減少しない。このため、 C_s による直巻効果が有効に利用でき出力電圧の変動が補償できる。しかし、誘導性負荷に対応させるには、かなり大きな励磁起磁力を必要とする。それにもかかわらず、固定子巻線一相で自己励磁するため、励磁効率が悪い。また、原理的に鉄心が過飽和状態で運転されるため、空隙磁束の変形により出力波形がひずむなど問題がある。

3. 三相かご形誘導機を用いた新方式自励単相誘導発電機

〈3・1〉 回路構成 図2に、提案する発電機の回路構成を示す。本方式は、三相かご形誘導機を用いて、固定子三相端子のうち v - w 間に直列接続した二つのコンデンサ C_s を接続し、この C_s を相互に接続する点 o' と、固定子の u 相から単相負荷に電力を供給するように構成する。このようにして、固定子三相巻線のすべての相を負荷巻線として利用する。また、コンデンサ C_s は自己励磁用のコンデンサとして働くだけでなく、負荷回路に直列に接続されるので発電機の進み電流を負荷変化に応じて自動的に調節できる。さらに、図2に示すように、負荷と並列にコンデンサ C_p を接続して固定子を三相交流で自己励磁し、励磁起磁力の確保を効率的に行う。また、固定子巻線に三相星形接続を採用するため、高調波電圧の抑制が容易で、たとえ鉄心が過飽和状態で運転されても、出力波形を正弦波

図2 三相かご形誘導機を用いた新しい自己調節形自励単相誘導発電機

Fig.2. A new self-regulated self-excited single-phase induction generator using a squirrel cage three-phase induction machine.

図3 電圧確立の方法

Fig.3. Circuit diagrams showing the method of voltage build-up.

にすることができる。

〈3・2〉 動作原理 回転子を外力により駆動すると、発電機は回転子鉄心の残留磁気と C_s および C_p に供給する進み電流で自己励磁し、出力端子に電圧が確立する。ここで、出力電圧 v は u 相電圧 v_u と $o'-o$ 間の電圧 $v_{o'o}$ の合成で表わされる。 v_u は i_{sq} および $i_{sd}(=i_p)$ で確立され、このうち i_{sd} は負荷電流 i によって直接干渉される。しかし、 $u-o'$ 間の回路と $v-w$ 間の回路は電氣的に直交しており、 i_{sq} と i は電氣的に独立な回路を流れるため直接干渉されず、誘導性負荷時でも v_u が大幅に減少しない。また、次章で詳述するように、 $v_{o'o}$ は C_s の作用により v を昇圧するように働き、発電機に直巻特性をもたらす(以下、 $v_{o'o}$ を“補償電圧”と記す)。したがって、 C_s および C_p の値を適切に選定しておけば、 v_u に $v_{o'o}$ が効果的に加わり、出力電圧 v の変動を無制御で補償することができる。

〈3・3〉 電圧確立の方法 図3(a)、(b)に電圧確立の方法を示す。本発電機は、回転子鉄心の残留磁気を利用して自己励磁することを基本にする⁽¹⁰⁾。図3(a)は、そ

の場合の回路例を示している。この場合、外力により回転子を駆動し、スイッチ S を投入すれば、出力端子に電圧が確立する。基本的には、この方法で十分であるが、残留磁気の不足時や、運転中の短絡、あるいは過負荷時の減磁により電圧を発生しなくなる場合が考えられる。このため、図3(b)に示すように初期励磁用のバッテリーを常備し、固定子巻線に直流電流を極短時間供給して、電圧確立を容易にする方法もある。

4. 動作特性の理論的考察

本章では、発電機の磁気飽和を無視し、提案機の原理とその動作特性を理論的に考察する。ここでは、コンデンサと負荷の外部回路から、励磁電流 i_{sq} および i_p (無負荷時は、 $i_p=i_{sd}$) と出力電圧 v の関係を求める。この結果から、 C_p および C_s の働きによって、負荷電流の変化に対して出力電圧が一定に保たれる動作をベクトルの的に明らかにする。

〈4・1〉 線間電圧の対称分 図2において、固定子巻線 u, v, w の各線間電圧 v_{uv}, v_{vw}, v_{wu} をベクトル表示し、それぞれ $\dot{V}_{uv}, \dot{V}_{vw}, \dot{V}_{wu}$ とおけば、次式が成立する。

$$\begin{aligned}\dot{V}_{uv} &= \dot{V} - (-j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} + \dot{I}_{sq} \right) \\ &= \frac{(-j/\omega C_p) \dot{Z}_l}{(-j/\omega C_p) + \dot{Z}_l} \dot{I}_{sd} - (-j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} + \dot{I}_{sq} \right) \quad \dots \dots \dots (1)\end{aligned}$$

$$\dot{V}_{vw} = -2 \cdot (-j/\omega C_s) \dot{I}_{sq} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_{wu} &= (-j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} - \dot{I}_{sq} \right) - \dot{V} \\ &= (-j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} - \dot{I}_{sq} \right) - \frac{(-j/\omega C_p) \dot{Z}_l}{(-j/\omega C_p) + \dot{Z}_l} \dot{I}_{sd} \quad \dots \dots \dots (3)\end{aligned}$$

ただし、 $\dot{V}, \dot{I}_{sd}, \dot{I}_{sq}$: v, i_{sd}, i_{sq} のベクトル表示、
 $\dot{Z}_l$: 負荷インピーダンス、 $\omega=2\pi f, f$: 発電周波数。

ここで、固定子巻線の線間電圧 $\dot{V}_{uv}, \dot{V}_{vw}, \dot{V}_{wu}$ を対称成分に分け、その正相分電圧 $\dot{V}_1$ と逆相分電圧 $\dot{V}_2$ を求めると、次式が得られる。

$$\begin{aligned}\dot{V}_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{V}_{uv} + a \dot{V}_{vw} + a^2 \dot{V}_{wu}) \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\left\{ \frac{(-j/\omega C_p) \dot{Z}_l}{(-j/\omega C_p) + \dot{Z}_l} + \frac{1}{2} (-j/\omega C_s) \right\} (1-a^2) \dot{I}_{sd} \right. \\ &\quad \left. + \frac{3}{2} \cdot 2(-j/\omega C_s) a \dot{I}_{sq} \right] \quad \dots \dots \dots (4)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_2 &= \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{V}_{uv} + a^2 \dot{V}_{vw} + a \dot{V}_{wu}) \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\left\{ \frac{(-j/\omega C_p) \dot{Z}_l}{(-j/\omega C_p) + \dot{Z}_l} + \frac{1}{2} (-j/\omega C_s) \right\} (1-a) \dot{I}_{sd} \right. \\ &\quad \left. + \frac{3}{2} \cdot 2(-j/\omega C_s) a^2 \dot{I}_{sq} \right] \quad \dots \dots \dots (5)\end{aligned}$$

ただし、 $a=e^{j2\pi/3}$ 、 a : ベクトルオペレータ。

(4)、(5)式の右辺第1項目は、励磁電流 i_p (無負荷時は、 $i_p=i_{sd}$) により固定子巻線に発生する電圧成分を表わ

図 4 ベクトル図
Fig. 4. Vector diagrams.

し、第 2 項目は励磁電流 i_{sq} によるものを示す。(4)、(5)式から明らかなように、 i_{sq} および i_{sd} は電氣的に直交した回路を流れ、第 2 項目は負荷インピーダンス Z_l に直接干渉されないことがわかる。したがって、 i_{sq} により、誘導性負荷時でも安定した電圧成分を形成することができる。

また、(4)、(5)式で示された正相および逆相電圧のベクトル合成が発電機の u - v 間の電圧 $\dot{V}_{uv}$ を決定する。

〈4・2〉 出力電圧 出力電圧 $\dot{V}$ は、励磁電流 i_{sq} および i_p により発生する u 相電圧 $\dot{V}_u$ と o' - o 間の補償電圧 $\dot{V}_{o'o}$ とのベクトル合成で表わされ、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \dot{V}_u - \dot{V}_{o'o} \\ &= \dot{V}_u - \left\{ \dot{V}_v + (j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} + \dot{I}_{sq} \right) \right\} \\ &= \dot{V}_{uv} - (j/\omega C_s) \left(-\frac{\dot{I}_{sd}}{2} + \dot{I}_{sq} \right) \dots\dots\dots (6)\end{aligned}$$

ただし、 $\dot{V}_u$, $\dot{V}_{o'o}$: v_u , $v_{o'o}$ のベクトル表示。

次に本発電機の無負荷時、抵抗および誘導性負荷時における電圧・電流ベクトル図を描く。ここでは、考察を容易にするため、 C_s と C_p は同容量とし、励磁電流 $\dot{I}_{sq}$ は負荷にかかわらず常に一定と仮定する(実際には、抵抗負荷時は発電機の巻線のインピーダンス降下、誘導性負荷時には

インピーダンス降下と減磁作用などにより各相の端子電圧が減少するので励磁電流 $\dot{I}_{sq}$ は一定にはならない)。この仮定の下に次の手順でベクトル図を描くと図 4 のようになる。

(I) 励磁電流 $\dot{I}_{sq}$ をベクトルの基準にとり、これと同相な u 相電圧 $\dot{V}_u$ を描く。

(II) u 相電圧 $\dot{V}_u$ より 120° 遅れた位置に同じ値の v 相電圧 $\dot{V}_v$ が与えられる。さらに、 $\dot{V}_u$ と $\dot{V}_v$ から $\dot{V}_{uv}$ が得られる。

(III) 図 2 から、無負荷時は u 相電圧 $\dot{V}_u$ と出力電圧 $\dot{V}$ が同相となるので、励磁電流 $\dot{I}_p (= \dot{I}_{sd})$ は $\dot{V}_u$ より 90° 進んだ方向に $\dot{I}_{sq}$ の $2/\sqrt{3}$ 倍の大ききで与えられる。したがって、(6)式から図 4 (a) のように出力電圧 $\dot{V}$ が定まる。

(IV) 負荷時は、図 2 から明らかなように o' - v 間の電圧が無負荷時の電圧より減少し、 o' - w 間の電圧は逆に増加するので、出力電圧 $\dot{V}$ は u 相電圧 $\dot{V}_u$ より進み位相になる。このため、抵抗負荷の場合、負荷電流 $\dot{I}$ は図 4 (b) のように u 相電圧 $\dot{V}_u$ より進んだ位置に任意の値で与えることができる。また、励磁電流 $\dot{I}_p$ は $\dot{I}$ より 90° 進んだ方向に無負荷時の値と同じ大ききで与えられるので、(6)式より図 4 (b) のように出力電圧 $\dot{V}$ が定まる。

(V) 誘導性負荷の場合は、抵抗負荷時より負荷電流 $\dot{I}$ を遅れた位置に定めれば、(6)式から図 4 (c) のように出力電圧 $\dot{V}$ が定まる。

(6)式と図 4 のベクトル図からわかるように、補償電圧 $\dot{V}_{o'o}$ は、 v 相電圧 $\dot{V}_v$ とコンデンサ C_s の電圧降下とのベクトル合成で表わされ、 C_s の作用によって負荷の増加とともに出力電圧 $\dot{V}$ を昇圧するように働いている。ただし、図 4 (b), (c) のように、理論上は負荷時において出力電圧 $\dot{V}$ が無負荷時に比べて大きくなるが、実際には考察で無視した巻線のインピーダンス降下や減磁作用などにより減少するので、コンデンサ C_s および C_p の容量を適切に選定しておけば、抵抗および誘導性負荷に対して出力電圧 $\dot{V}$ の変動が自動的に補償できる。

5. 実験結果

本章では、まず実験装置の概要を述べる。次に、抵抗および誘導性負荷時における電圧・電流特性を示して、4 章までに述べた本発電機の動作特性を実験的に裏づける。さらに、種々の負荷力率に対する出力電圧特性、負荷特性などを示して、本発電機の基礎特性を明らかにする。

〈5・1〉 実験装置 供試機には、2.2 kW, 200 V, 60 Hz, 4 極の三相かご形誘導電動機を用い、駆動装置としてインバータドライブの同期電動機を使用した。

なお、以下に示す発電特性は、供試機の単相定格を 1.3 kW (= 2.2/ $\sqrt{3}$ kW) と想定し、検討した結果を示す。また、コンデンサ C_s および C_p の容量は、実験(付録参照)により供試機において抵抗および誘導性負荷時の電圧変動が最も小さくなる値 ($C_s = 150 \mu\text{F}$, $C_p = 94 \mu\text{F}$) に選定し、

これらの値を基に特性を検討した。

〈5・2〉 発電特性 図5および図6に、抵抗および誘導性負荷(力率PF;遅れ0.8)時における出力電圧および電流特性を示す。図中における各電圧および電流は、それぞれ実効値を表わし、 n は回転子の回転速度を示している。また、図7は、発電時における電位地形図の実測結果を示す。

(4)、(5)式で示したように本構成によれば、誘導性負荷時でも励磁電流が大幅に減少せず、固定子巻線に負荷変化に対して安定な電圧成分が形成される。このことは、図

図5 電圧特性

Fig. 5. Voltage characteristics.

図6 電流特性

Fig. 6. Current characteristics.

5および図7の u 相電圧 V_u から確認できる。また、補償電圧 V_{o0} は、コンデンサ C_s の作用により出力 P_o の増加とともに大きくなり、出力電圧 V を昇圧するように加わっていることも確認できる。さらに、図4で示したベクトル図と図7の電位地形図の実測結果(電圧ベクトル)がよく一致しており、前章で述べた原理の裏づけができる。

なお、図5および図7から、負荷が誘導性の場合、抵抗負荷に比べて補償電圧 V_{o0} がより顕著に作用していることもわかる。これは、次の理由によるものと考えられる。すなわち、図4のベクトル図および図6の電流特性に示されるように、誘導性負荷の場合、固定子巻線に流れる電流 I_{sd} が小さくなる。このため、 C_s のインピーダンス降下が小さくなって、 $o'-o$ 間の電圧 V_{o0} がこれに伴って上昇するからである。また、この現象に加えて、電流 I_{sd} の位相が抵抗負荷時より遅れるため、図7(c)の電位地形図のように補償電圧 V_{o0} の位相も遅れ、これが V_u に効果的に加わるためである。さらに、実際には発電機に磁気飽和があり、特に抵抗負荷の場合その影響が著しくなるため、補償電圧 V_{o0} が効果的に加わらず、誘導性負荷時に比べて電圧変動が若干大きくなる。

以上のように、コンデンサ C_s および C_p の値が適切であれば、図5に示すように抵抗および誘導性負荷に対してほぼ一定の出力電圧 V を得ることができる。

図8 力率変動負荷に対する出力電圧特性

Fig. 8. Output voltage characteristics of the generator with variable power factor loads.

図7 電位地形図

Fig. 7. Voltage-vector diagrams.

図 9 出力特性
Fig. 9. Output characteristics.

図 10 出力電圧波形
Fig. 10. Waveforms of output voltage.

図 8 は出力 P_o の増加とともに負荷力率を変化させた場合の出力電圧特性を示す。力率が変動しても電圧変動は非常に小さく、良好な出力電圧特性が得られている。

図 9 は本発電機の出力特性を示す。図中の I は負荷電流 i の実効値を示す。実験の結果、供試機における効率 η の最高値は 79% と良好で、発電機本体を最適設計すればさらに高い効率が期待できる。また、周波数変動も、1.3 kW 負荷時で 1 Hz と小さく、実用上、問題はないものと考えられる。

図 10 は無負荷および 1.3 kW 負荷時における出力電圧 v の波形を示す。本方式では、固定子巻線が三相星形接続であるため、3 の倍数の奇数次高調波による波形ひずみがなく、正弦波の出力電圧を得ることができる。

図 11 は負荷急変時における出力電圧 v の応答特性を示す。図(a), (b)から、抵抗および誘導性負荷に対して、過渡電圧変動は小さく、出力電圧 v の応答特性も良好である。

6. む す び

本論文では、三相かご形誘導機を用いて、抵抗負荷から誘導性負荷まで出力電圧の変動が無制御で補償できる自己調節形の新しい自励単相誘導発電機を提案し、その原理と基礎特性を実験により明らかにした。

本発電機は、固定子の三相星形巻線を利用して、誘導性負荷にも強い励磁系を構成した点に特長があり、電圧変動

(a) 力率 $PF=1.0$

(b) 力率 $PF=0.8$ 遅れ

図 11 出力電圧の応答特性
Fig. 11. Voltage-response characteristics.

が小さく、正弦波の出力電圧を得ることができる。したがって、定回転のエンジンと直結して、周波数変動が支障にならない工事やレジャー用のポータブル電源として実用性があるものと考えられる。

終わりに、卒業研究として本研究に協力された今井秀明、蕪城裕一、山口洋充の諸君に謝意を表す。

(平成 6 年 11 月 16 日受付, 同 7 年 2 月 16 日再受付)

文 献

- (1) ヤンマーディーゼル株式会社: 「ヤンマーガソリン発電機 YSG シリーズ, YSG-SS シリーズ(カタログ)」, (平 5)
- (2) ヤマハ発動機株式会社: 「ヤマハ発電機(カタログ)」, (平 4)
- (3) E. D. Bassett & F. M. Potter: "Capacitive Excitation for Induction Generator", *AIEE Trans. on E. E.*, 54, 540 (1935)
- (4) 上之園・上之園: 「誘導発電機の特長に関する研究」, 電力技術研究所研報, 6, 19 (昭 31)
- (5) 戸川: 「船用電源としての自己励磁誘導発電機について(I)」, 水産大学校研究業績, 474, 17 (昭 41)
- (6) B. Singh, R. B. Saxena, S. S. Murthy & B. P. Singh: "A Single-Phase Self-Excited Induction Generator for Lighting Loads in Remote Areas", *Int. J. Elect. Enging Educ.*, 25, 269 (1988)

- (7) W. Hanguang: "A High Performance Single Phase Induction Generator", in *Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meeting*, 24th, 1, 133 (1989)
- (8) S. S. Murthy: "A Novel Self-Excited Self-Regulated Single Phase Induction Generator Part-I Basic System and Theory", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 8, No. 3, 377 (1992)
- (9) S. S. Murthy, H. C. Rai & A. K. Tandon: "A Novel Self-Excited Self-Regulated Single Phase Induction Generator Part-II Experimental Investigation", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 8, No. 3, 383 (1992)
- (10) 足立: 「コンデンサ自励誘導発電機の自励過渡現象」電学誌, 81, 580 (昭56)

付図 1 無負荷電圧特性 (C_p を接続しない場合)
app. Fig. 1. No-load voltage characteristics of the tested generator without C_p .

付図 2 C_p を可変した場合の出力電圧特性
(抵抗負荷 $PF=1$)
app. Fig. 2. Output voltage characteristics of the tested generator (when C_p is changed in the resistive load condition).

付 録

本実験における C_s および C_p の決定法

ここでは、5章で述べた実験において、コンデンサ C_s および C_p をどのように決定したかを述べる。 C_s および C_p の決定法は種々考えられるが、本実験では、次のような手順で行った。

C_s および C_p を同時に決定することは非常に困難なので、実験では、まず付図1に示す発電機の無負荷電圧特性 (C_p を接続しない場合) から C_s の容量を決定した。自励現象が起こる必要最小限の C_s の容量がほぼ $150 \mu F$ であったためこの値を基準にし、次に抵抗および誘導性負荷時

付図 3 C_p を可変した場合の出力電圧特性
(誘導性負荷 $PF=0.8$)

app. Fig. 3. Output voltage characteristics of the tested generator (when C_p is changed in the inductive load condition).

の出力電圧変動が最も小さくなるように C_p の容量を選定した。その結果を付図2および付図3に示す。付図2および付図3の結果のように、抵抗および誘導性負荷時における出力電圧の変動が最も小さくなる C_p の容量は $94 \mu F$ の場合であった。

深 見 正

(正員) 昭和37年12月19日生。平成2年3月金沢工業大学大学院博士課程修了。同年4月三菱電機(株)入社。中央研究所に勤務。平成4年4月金沢工業大学助手、平成5年4月同大学講師、現在にいたる。工学博士。主として、回転機の研究に従事。昭和59年オーム奨学賞、平成4年日本舶用機関学会奨励賞受賞。IEEE、日本舶用機関学会会員。

今 村 道 徳

(学生員) 昭和46年10月15日生。平成6年3月金沢工業大学電気工学科卒。同年4月同大学大学院修士課程入学、現在にいたる。主として、誘導発電機に関する研究に従事。日本舶用機関学会会員。

宮 本 紀 男

(正員) 昭和12年2月11日生。34年3月金沢大学工学部電気工学科卒業。同年4月三菱電機(株)入社、中央研究所にて SF_6 ガス絶縁変電機器、永久ヒューズなどの開発に従事。電気学会進歩賞、科学技術庁長官賞。51年京都大学工学博士。55年伊丹製作所開発部長、60年同所光ディスク開発プロジェクト部長、62年産業システム研究所光ディスク開発センター長、平成2年金沢工業大学教授。着任後、植物が示す神秘的な電磁気現象の研究に着手。現在にいたる。