

誘導発電機を用いた変動軸入力 による発電装置

大 矢 博 史*

Variable Shaft input Generating Systems by Induction Generator

by Hiroshi OHYA

まえがき

風のように気まぐれに変化を繰り返すエネルギーによる発電は困難とされてきた。そこで今回、誘導発電機の励磁電圧を積極的に制御する事によって微小軸入力から強大な軸入力まで効率良く有効に発電可能な装置の試作実験を行った。

1. 発電方式について

物理エネルギーを電気エネルギーに変換するためには一般的に回転電気機械を用いる。即ち発電機を使う訳であるが、現在、電力会社から需用家に供給される電気エネルギーは交流電力が一般的である。これには種々の理由があるが、風エネルギーなどによる発電に於いても最終的にはこれに従うべきだと考えられる。つまり交流電力を得なければならないということである。単に発電をする場合種々の方法が考えられるが次のような理由から「他励式三相誘導発電機」を利用して効率良く発電をする事が可能だと考える。

- a) 軽微な設備投資ですむので他の方法にくらべて電力コストが格段に安くなる
- b) 構造が簡単なうえブラシなどをもたないので保守の手間がほとんどかからない
- c) 構造上、製作コストが安価である
- d) 電力線と並行運動する場合、同期化の手間がほとんどかからず同期発電機としての動作が簡単である
- e) 励磁電圧を制御することにより励磁損失を低減できると同時にトルク時性も制御できる

特に上記 e) に於いては今まで無視されていたような小さなエネルギーでも電氣的出力として効率良く変換できる可能性があると思われる。

* 理工学部電気工学科助手 パワーエレクトロニクス

2. 他励式三相誘導発電機の原理

三相誘導発電機の同期速度 N_0 は、固定子に巻かれた極数 p と電源周波数 f によって次の式にて求められる

$$N_0 = \frac{120f}{p} [\text{rpm}] \quad \dots\dots(1)$$

又、この時のすべり S は、回転子の回転数 N と(1)式の同期速度 N_0 とから

$$S = \frac{N_0 - N}{N_0} [\text{rpm}] \quad \dots\dots(2)$$

として求められる。(発電機の領域ではすべりは負の値となる。)他励式三相誘導発電機は、固定子側に三相交流電源を接続して外部から励磁してやり回転子を同期速度以上の速度で回転させてやると回転子巻線が固定子側から発生している回転磁界を追い越すことになる。そうすると回転子は、固定子側の回転磁界を電動機の場合とは反対の方向から切ることになり、フレミングの右手の法則から誘導される起電力 E_2 が固定子巻線に外部電源によって誘起した起電力 E_1 と反対方向に発生する。この誘導起電力 E_2 によって回転子電流 I_2 が流水、この回転子電流が流れることによって新たに起磁力が発生して主磁界である回転磁界を乱すようになる。そのため主磁界を一定に保たせるように固定子巻線に回転子電流 I_2 と等しく反対方向の固定子電流 I_1 が流れることによって発生する起磁力とがお互いに打ち消し合う。結果この固定子巻線から電源に流れ出す電流 I_1 と回転磁界を発生させるのに必要な電源から流れこむ励磁電流 I_0 との差分が全固定子電流 I となり電源に出力電力として返還される。即ち出力電流 I は

$$I = I_1 + I_0 [\text{A}] \quad \dots\dots(3)$$

と表わされることになる。

3. 供試三相誘導発電機の特性

供試三相誘導発電機定格

電 圧：200(V)

電 流：7.3/6.7(A)

極 数：6極

周波数：50/60(Hz)

回転数：950/1130(rpm)

出 力：1.5(KW)

絶 縁：E種

特性試験は、動力計により外部から供試機回転子を回してやり、その時の各値を測定した。

図1よりわかるように50(V)に於ける励磁電力損は約50(W)であり定格200(V)の時に比らべて実に1/4以下になっている。発電時の損失を無視するならば軸入力50(W)程度から発電が可能になる訳である。又図2からは各励磁電圧(80V~200Vまで等間隔)に対する入出力の最大効率と回転数に対する関係であるがおよそ1040(rpm)に集中この回転域を中心に制御すれば良い事になる。

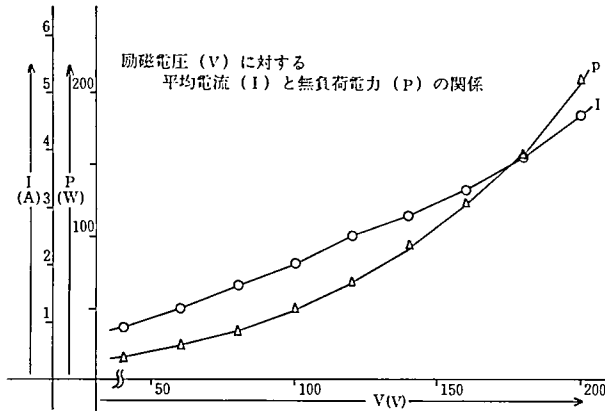


図1 励磁電圧 (v) に対する平均電流 (I) と無負荷電力 (P) の関係

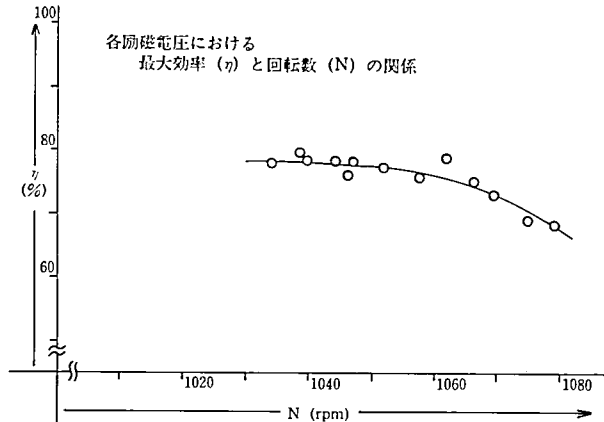


図2 各励磁電圧における最大効率 (η) と回転数 (N) の関係

4. 制御回路と発電機主回路

制御回路の主な機能は、カウンター、いくつかの変数を基に制御段を決定するマイクロコンピュータ、主回路である電力のオン、オフを繰り返すトライアック群からなる。他励三相誘導電機のトルク T は、

$$T = \frac{1}{9.8} \frac{pm_2}{4\pi f} \frac{(-S)V_1'^2 r_2'}{\{(-S)r_1 + r_2'\}^2 + (-S)^2(x_1 + x_2')^2} \quad \dots\dots(4)$$

但し p : 固定子巻線極数

m_2 : 固定子巻線相数

r_1 : 固定子一相分の抵抗

x_1 : 固定子一相分の漏れリアクタンス

r_2' : 誘導発電機の回転子一相分を一次側に換算した等価回路における抵抗

x_2' : 誘導発電機の回転子一相分を一次側に換算した等価回路に於ける漏れリアクタンス

と表わされる。ここで発電機の各定数を一定、すべりも一定と考えれば(4)式は

$$T = kV^2 \quad \dots\dots(5)$$

と表わすことができる。又発電機出力は回転数に比例するので

$$P \propto NT = kNV^2 \quad \dots\dots(6)$$

と表わされる。即ち、電圧と回転数に比例する事になる。しかし今回の制御方法は、ほぼ回転数を一定に保つという考え方なので出力は電圧の2乗に比例すると考えて良い事になる。つまり出力は電圧の二乗で変化するので電圧値を考慮すれば、小さな入力から大きな入力まで発電に利用することができる。制御回路は図3に示す通りであるが外部から設定するデータは次のような目的である

極数：発電機の各励磁電圧に対する励磁電力を内部ROMにデータとしてもっており発電電力を得られる最小回転数を決定する。(装置に柔軟性をもたせるため極数を変えられるように設計した。又、制御用マイクロコンピュータの主な役割は、外部入力に対するROM内データを基にコンパレータとして用いられている。)

端子電圧：励磁電力を決定する時の励磁電圧を与える。

動作範囲回転数：効率よく発電を行うための動作範囲上限を決定する。

各段制御データ：やはり効率よく発電を行うため各段の動作範囲上限を決定する。

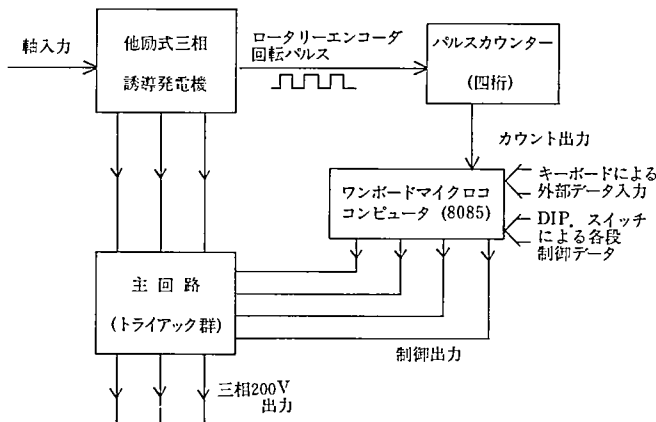


図3 発電機制御ブロック図

又、データのサンプリングタイムについては、一般的に機械系を含む入出力特性は電気現象に比べてかなり応答が緩慢なこと、又、風などに応用する場合その変動についてもやはり同じようなことがいえる等を考慮してこの場合のサンプリングタイムは100msとした。しかし、実用にあたっては機械系回転軸の慣性モーメントや軸入力の変動周期特性などを十分考慮にいれて決定されるべきのものである。

今回発電制御を行った主回路を示す。

この主回路で問題となるのは、一相で一個以上のトライアックが導通すると巻線を通じて循環電流が流れることである。連続したタップ切換は技術的には可能であるが、その安全性は十分とはいえない。(回路構成上、常に循環電流が流れる可能性がある。)

又、電流を連続して切り換えた場合、転流インダクタンス等をたくさん使うことになり回路が複雑になる。等の問題があるので今回の主路に於ける転流は、一サイクル分完全にオフさせて軸の慣性モーメントであまり回転数が変化しないうちに次段へとタップを

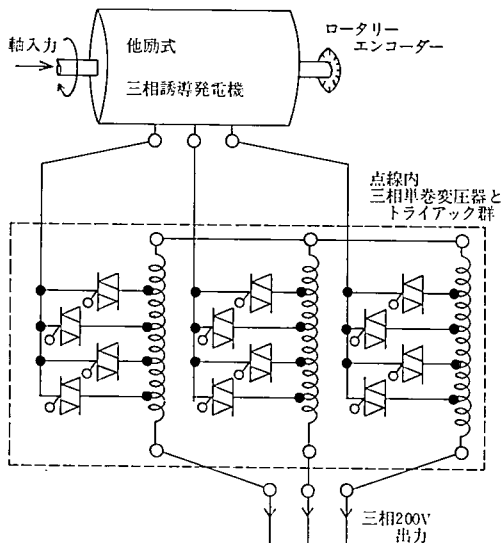


図4 発電機主回路

切り換る手法をとった。又、電源に与えるノイズなども考慮して位相制御なども一切行なわないことにした。

測定結果

図5に回転数の増加、減少時の制御回路の測定結果を示す。

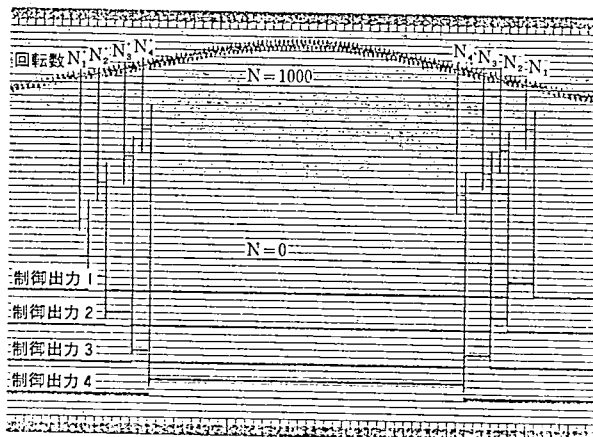


図5 制御回路の動作 測定結果

図5の結果は、外部キーボードより次の条件を入力した。又、DIP. スイッチの値は、滑り回転数を四等分して設定した。

1. 極数 (p): 6 極

- 2. サンプリングタイム (Ts) : 100ms
- 3. 滑り : 10%

図 5 から、回転数増加と減少時における制御出力と回転数の関係をしらべると

回転数増加		回転数減少		回転数の差	
N_1^+	1034	N_1^-	1028	$ N_1^+ - N_1^- $	6
N_2^+	1058	N_2^-	1062	$ N_2^+ - N_2^- $	4
N_3^+	1086	N_3^-	1080	$ N_3^+ - N_3^- $	6
N_4^+	1104	N_4^-	1112	$ N_4^+ - N_4^- $	8

単位 : N(rpm)

表 1 制御出力回転数の比較

次に、この制御回路を利用した発電機発電特性を示す。

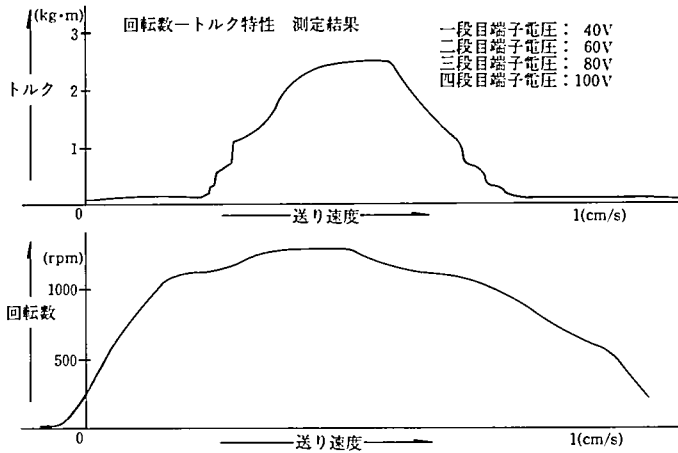


図 6 回転数—トルク特性 測定結果

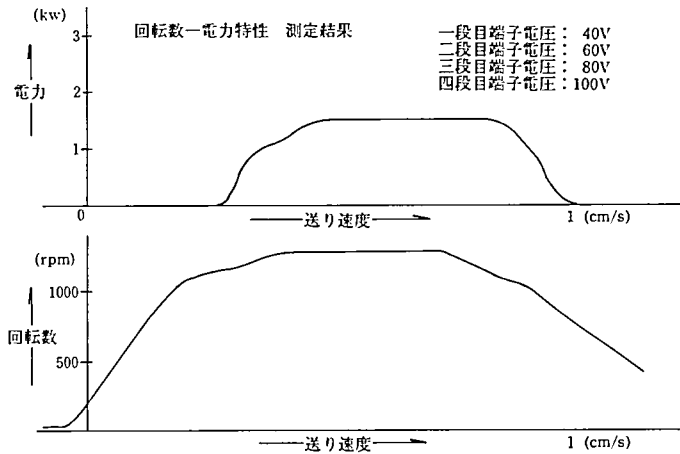


図 7 回転数—電力特性 測定結果

結果の検討

結果より、励磁電圧を適切に選択すれば誘導発電機の励磁電圧を、ON — OFF により切り換えられる事が解った。

表 1 における制御回路の動作特性の結果では各段の ON — OFF 回転数は回転数の増減に応じて弱干の回転差が観測された。これは回転数を検出して制御出力するまでサンプリングタイム (0.1 秒) のおくれがあるからで、増加の時は実際より少なめに、又減少の時は多目に速度検出されているからである。この検出誤差は回路構成上やむおえないものであるが制御上特に問題となる数値ではない。図 6 ~ 9 は、上下時間軸に 2cm の時間ずれがある。図 6 と 7 は、励磁電圧が 40—60—80—100V であり結果から解るとおり最大励磁電圧 100V では入がオーバーしてしまい定速運転とはならず 1100(rpm) を起しているが切り換え時のトルク変動等はスムーズな良い結果が得られている。図 8 と 9 は励磁電圧が 80—100—140—160V であり制御回転数は目標以下におさまっているがトルク

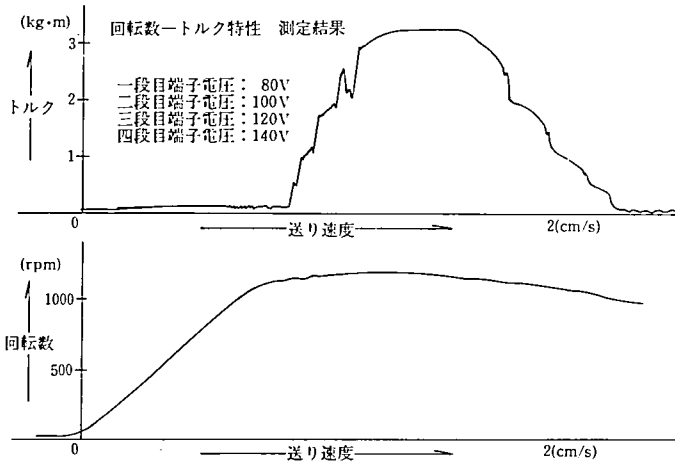


図 8 回転数—トルク特性 測定結果

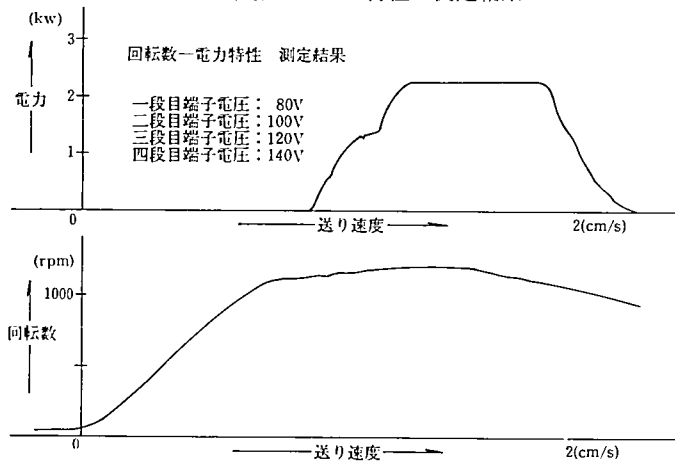


図 9 回転数—電力特性 測定結果

のあばれが観測された。これは、式(6)で述べたとうりトルクは電圧の二乗に比例することから急激にトルクが立ち上がっていることが主な理由と考えられる。解決方法としては、励磁端子電圧の段数を多くすることや励磁電圧の適正值選択などが考えられ回転軸の慣性などとあわせて検討の余地を残すものであった。又、発電効率としては、入力的大小にかかわらず70%前後の効率を得ているが動力計の都合で電力の定量的な測定が行えなかった事は今後の課題と考えている。

全体的には、小さなエネルギーを発電に利用する場合の一つの方法として、又設備投資という点からも有用な一つの方法と思われた。

む す び

石油危機がさげばれて以来、これからのエネルギー源として「ソフトエネルギー・パス」と「ハードエネルギー・パス」の方法を相互補完的に考えていかなければならないと言われているが、今回は、主に風エネルギーの利用を主眼に実験を行ってみた。風エネルギーはソフトエネルギーの中でも水などに比べて特にエネルギー密度が低くその利用は困難だと考えられている。誘導発電機は、小型の水力発電などでその利用例があるが、風などの変動するエネルギー源による発電用として積極的に励磁電圧を制御している報告が少い又、制御方法も同じであることから今回の実験に着手した。

終りに今回の研究を指導して下さいました、故木村 久男教授、又各種の御援助をいただいた 川村 日佐夫教授、藤井 新兵衛教授はじめ電気工学科の諸先生方に感謝します。又、昼夜を問わず実験に協力いただいた卒業研究の学生諸君に感謝します。

参 考 文 献

- 1) G. Elsoe Jorgensen "DESIGN ECONOMIC AND SYSTEM CONSIDERATION OF LARGE WIND DRIVEN GENERATORS" IEEE PAS-95 No. 3 May/June 1976
- 2) D. W. Novotny "SELF-EXITATION IN INVERTER DRIVEN INDUCTION MACHINES" IEEE PAS-96 No. 4 July /August 1977
- 3) 電気規格調査会標準規格, JEC37, 1979
- 4) 森田清著, 円線図と円線図表
- 5) 電気学会編, 電気工学ハンドブック
- 6) 藤了念著, 誘導機 I, II
- 7) 電気学会編, 電気機器工学 I
- 8) 広瀬敬一, 電気機器
- 9) 横井与次郎, デジタル IC 実用回路マニュアル