

ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法

[近似双曲線線図]

猪上憲治・榊 茂忠・鹿井恵意*

The Diagrammatic Analysis of Asynchronous Motor with Solid Iron Rotor

[Approximate Hyperbola Diagram]

By Kenji INOUE, Shigetada SAKAKI and Keitoku SHIKAI

Authors had been used to the hyperbola diagram as the diagrammatic analysis on the characteristics of 3-phase asynchronous motor with solid iron rotor.

However, it had been deficient in the application by reason of the complex construction.

Recently, in view of this point, we have made "the approximate hyperbola diagram" as the diagrammatic analysis on the characteristics of this motor, which have provided several advantage from the practical point of view. In this paper, we illustrate particularly the constructive method of this diagram. Moreover, we illustrate that it is possible to use this diagram as the diagrammatic analysis on it's characteristics which the motor is running under conditions of the speed control by varying the stator voltage.

1. 緒 言

著者等は、すでにソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法として双曲線線図を作成している。本線図は、電流軌跡が双曲線で示され、すべり目盛に対数目盛が用いられ、さらにトルク(同期ワット)線と2次入力線とが一致しない本機特有の線図である。そして、著者等は、本線図から求めた諸特性の図値と、その実測値がよく一致することを確認している。しかしながら、本線図は、画法の基礎資料として軽負荷試験が必要となり、また回転子の固有抵抗及び透磁率の値が必要となるので実用的観点から多少の問

題を有する。

著者等は、この点を察して研究した結果、電流軌跡を漸近線の直線として取扱い、無負荷すべりに実測無負荷すべり値を用い、かつ、すべり(S)が100[%](S=1)におけるトルク(同期ワット)値と2次入力値とを一致させることにより、回転子の固有抵抗及び透磁率の値を不要とした画法による近似双曲線線図を作成した。この近似双曲線線図は、前者に比べて基礎試験が簡単化され、かつその画法が容易化されているので実用上一段と有益である。そして、我々は、すでにこの線図の概略を報告²⁾している。

本論文は、近似双曲線線図の画法を詳細に述べ、ま

* 西日本工業大学教授(前群馬大学)

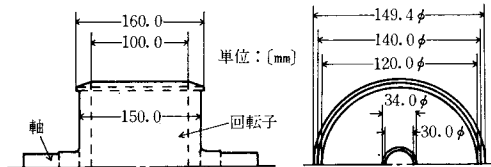
た、本機が用途上電圧可変による速度制御の状態でも大に使用されている点を重要視し、この状態で運転された場合の負荷特性が、近似双曲線線図から図式的に算定できるか否かを検討したものである。その結果、本機がこの様な状態で運転された場合も、その諸特性の図式算定法として近似双曲線線図が適切であることが実証された。

2. 試作電動機について

2.1 試作電動機の回転子構造及び回転子材料

試作電動機の回転子構造は第2.1図の如くであり、回転子材料は第2.1表の如くである。

なお、試作電動機の定格は相数3、極数4、1次周波数60 [Hz]、1次端子電圧200 [V]、入力電流17 [A] (設計値)、出力 2.2 [kw] (設計値) である。



第2.1図 回転子の構造

第2.1表 回転子の材料

回転子材料	材質(比透磁率 μ_s , 固有抵抗 ρ)		電動機の名称
	μ_s	ρ [$\Omega \cdot \text{cm}$]	
鋳鉄	72.44	87.5×10^{-6}	No. 3 機

なお、 μ_s は周波数 60 [Hz] における実測値、 ρ は直流 8 [A] における実測値である。また、測定は同材のテストピースについて行った。

3. 実験

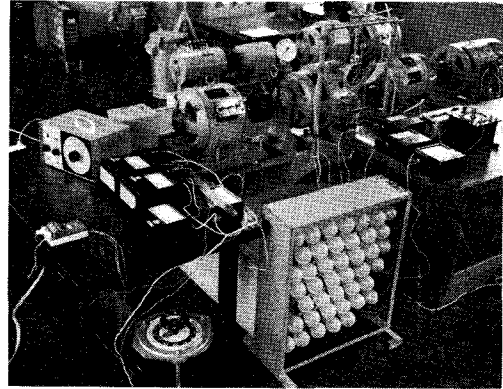
3.1 実験方法、実験装置及び実験結果

本論文において行った実験は、近似双曲線線図画法に必要な1次巻線抵抗測定、無負荷試験、拘束試験の三基礎実験と、本線図から求めた諸特性の適切性を実証(図値と実測値との比較検討)する為に必要となる負荷試験である。

実験方法は、一般誘導電動機のハイランド円線図画法に必要な三試験の方法と同様であるから、その詳細は省く。

実験装置の概要を述べると、装置は第3.1図の如くであり、電動機の出力は電動機と直結の電気動力計で

測定し、回転数はストロボ装置で測定した。実験結果は諸特性図(第5.2図～第7.7図)中の×印によって示されている。



第3.1図 実験装置

4. 近似双曲線線図

4.1 近似双曲線線図及び双曲線線図

ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の特徴は、電流軌跡が漸近線の直線部を含む(すべりが大になると、その電流軌跡は殆んど漸近線の直線となる)双曲線を示し、2次力率がほぼ一定となることであり、また、2次電流有効成分中にトルクの観点からブレーキ作用をもたらす電流成分が存在する為に、2次入力と同期ワットで表わしたトルク(著者等は、同期ワットトルクと一致すると見做される2次入力を実効2次入力と名称している)とが一致しないことである。これらの特徴は、すでに³⁾⁴⁾理論的、実験的に解析している。

以上述べたことは、一般誘導電動機の図式特性算定法の円線図が、本機において成立しないことを示している。その為、著者等は、本機の図式特性算定法として双曲線線図を作成した⁵⁾。しかし、双曲線線図は、画法の過程において、軽負荷試験及び回転子材料の透磁率、固有抵抗の値が既知であることが必要となり実用的でない。そして、著者等は、その後の研究において下記の様な実用的近似双曲線線図を作成した。

4.2 近似双曲線線図の画法及び諸特性の算定法

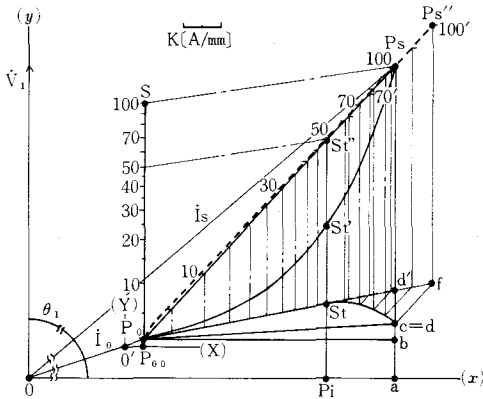
近似双曲線線図の画法及び諸特性の算定法については、第4.1図を参照して説明する。

(i) 近似双曲線線図の画法

ただし

x軸: 電流無効成分

y軸: 電流有効成分



第4.1図 近似双曲線線図の画法説明図

- O : x, y 座標の原点 (ベクトルの原点)
- O' : X, Y 座標 (双曲線座標) の原点
- $\widehat{P_0P_s}$: 双曲線 (電流軌跡)
- $\overline{P_0P_s}$: 近似的電流軌跡 (同時にすべり線である)
- P_{00} : 双曲線の始点 ($S = 0$ における電流軌跡点)
- $\overrightarrow{OP_0}$: 無負荷電流ベクトル; i_0
- $\overrightarrow{OP_s}$: 起動電流 (P_s 点は $S = 1$ における電流軌跡点) ベクトル; i_s
- $\overline{P_0S}$: すべり目盛
- $\overline{P_s''}$: すべり目盛更正時の $S = 100[\%]$ 点 (トルク線画法に使用する)
- \overline{ab} : 無負荷損
- $\overline{P_0C}$: 1次銅損線 (電流軌跡を近似的に直線と見做した場合)
- $\widehat{P_0S_1C}$: トルク線 (= 実効2次入力線, 同期ワット)
- $\overline{S_1''P_1}$: 入力 (ただし, $S = 50[\%]$ のとき)
- $\overline{S_1''S_1}$: 実効2次入力, または同期ワットトルク (ただし, $S = 50[\%]$ のとき)
- $\overline{S_1''S_1'}$: 出力 (ただし, $S = 50[\%]$ のとき)
- $\overline{S_1''S_1'/S_1''P_1}$: 効率 (ただし, $S = 50[\%]$ のとき)
- θ_1 : 1次力率円 ($\cos \theta_1$)
- K : 電流目盛 [A/mm]

まず, 無負荷試験及び拘束試験の結果を用いて $P_0(x_0, y_0)$ 点及び $P_s(x_s, y_s)$ 点を定める。そして, 両点を結び電流軌跡を作図する。次に, 実測無負荷す

べり (S_0) 値を対数方眼紙上 (常用対数の1をすべり $S = 0[\%]$ とする) に取り, その値を電流軌跡上の P_0 点に合せて鉛直線 ($\overline{P_0S}$) 上に対数目盛定めによるすべり目盛を作図する。そして, そのすべり目盛を電流軌跡上に平行移動しすべり線を作成する。次に, 1次巻線抵抗測定値及び $\overline{P_0P_s}$ (I_{2s}) 値を用い, すべり $S = 1$ における1次銅損 ($3I_{2s}^2r_1$) を計算して $\overline{aP_s}$ 上に C 点を定める。即ち, $\overline{P_0C}$ が1次銅損線である。次にトルク線の作図について述べる。まず, 電流軌跡上のすべり目盛の40~50[%] 区間を等分目盛で測り, その長さ (n) を基準平均すべり目盛の存在とする。そして, n 値の等分目盛で50[%] 以上のすべり目盛を $\overline{P_0P_s}$ 上, 及びその延長線上に $60', 70', \dots, 100'$ まで目盛る。次に P_s'' 点から垂線を下し, C 点を通り $\overline{P_0P_s}$ と平行な直線と垂線との交点 (f) を求め, P_0 点と f 点とを結ぶ。次に $\overline{P_0P_s}$ 上の各すべり値 (等分目盛値) からそれぞれ垂線を下し, $\overline{P_0f}$ との交点を $f', f'' \dots$ とする。その各点を通り $\overline{P_0P_s}$ と平行な直線を引き, 各対数目盛すべり値から下した垂線との交点 $S_{11}, S_{12} \dots$ を定めてそれらの点を結ぶ ($\widehat{S_1C}$)。以上の作図法によりトルク線 $\widehat{P_0S_1C}$ が作成される。

(ii) 諸特性の算定法

1次入力及び2次入力, $\overline{P_0P_s}$ 上の各すべり値 (対数目盛) から x 軸上に下した垂線の長さ, 及び $\overline{P_0C}$ 上に下した垂線の長さを電力に換算することによって求まる。また, トルク (同期ワット, = 実効2次入力) 及び出力は, $\overline{P_0P_s}$ 上の各すべり点 (値) から $\widehat{P_0S_1C}$ 上に下した垂線の長さ, 及び実効2次入力 (同期ワットトルク) に $|1 - S|$ を掛けた長さを電力に換算することによって求まる。次に効率及び1次力率は, 出力/入力及び $\angle yOP$ (P は $\overline{P_0P_s}$ 上の任意の点, また $\angle yOP = \theta_1, \cos \theta_1$) によって算定される。

5. 供給端子電圧 180[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図, 及び諸特性の図値と実測値との比較検討

5.1 供給端子電圧 180[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図

(i) 線図画法に必要な基礎資料

線図画法に必要な基礎試験結果は, 第5.1表の如くである。

(ii) 電流軌跡の画法

近似双曲線線図の基本の一つは電流軌跡を直線として扱うことにあるので, その軌跡は無負荷試験及び拘

第5.1表 基礎資料

試験	結果値	電圧[V]	電流[A]	力率[%]	すべり[%]	入力[W]
	無負荷試験	P_0 点	180.0	6.8	23.3	1.44
拘束試験	P_S' 点	131.2	17.0	63.9	100	2468
	P_S 点	180[V] 換算	23.3	63.9	100	4645
1次巻線抵抗測定		1次巻線抵抗値, $r_1=0.177[\Omega]$				

束試験の二試験の結果から画かれる。即ち、 P_0 点の値は $P_0(x_0=6.61, y_0=1.58)$, P_S 点の値は $180[V]$ 換算により $P_S(x_S=17.95, y_S=14.89)$ となり、両点を結ぶ直線が電流軌跡である。ただし、電流目盛は $K=2/10[A/mm]$ とする。

(iii) すべり線の画法

実測無負荷すべり $S_0=1.44[\%]$ を対数方眼紙に取り、その点を P_0 点に合わせ $\overline{P_0S}$ 上に対数目盛ですべり目盛を作図する。次に平行移動により $\overline{P_0P_S}$ 上にそれを移し、電流軌跡上にすべり線を作成する。

(iv) 1次銅損線の画法

I_{2S} の長さは、 $I_{2S}=\overline{P_0P_S} \times K=87.5[mm]$ であり、電流値を求めると

$$I_{2S}=\overline{P_0P_S} \times K$$

$$=87.5 \times 2/10=17.5[A]$$

となる。従って、1次銅損の値は

$$P_c=3I_{2S}^2r_1$$

$$=3 \times (17.5)^2 \times 0.177=162.6 [W/3 \text{ 相}]$$

$$=2.6[mm]$$

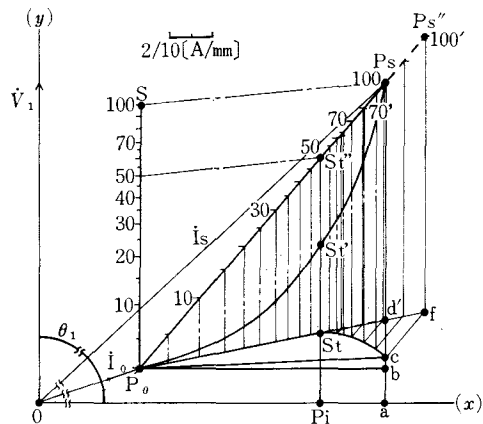
となり、 $\overline{aP_S}$ 上に b 点から 2.6 [mm] を取り C 点を定める。即ち $\overline{P_0C}$ が1次銅損線である。

(v) トルク線及びその他の画法

トルク線画法に必要な基準平均すべり目盛の存在のすべり区間の値は、40~50[%] 区間の 7.5[mm] が適当である。そして、50[%] 以上のすべり目盛定めを電流軌跡及びその延長上に 7.5 [mm] の等分目盛で行う。次に等分すべり目盛 (60', 70'……) の各点から垂線を下し $\overline{P_0f}$ との交点を求める。その交点を通り $\overline{P_0P_S}$ と平行な直線と、対数すべり目盛の各点から下した垂線との交点がそれぞれトルク点となる。これらのトルク点を結べば $\overline{P_0S_iC}$ トルク線が作成される。出力は、(4.2) 節の(ii)項で述べた様に各対数すべり目盛値からトルク線に下した垂線の長さにより $|1-S|$ を掛け、それを電力に換算することによって

求まる ($\overline{P_0S_iP_S}$)。効率、1次力率も (4.2) 節の(ii)項で述べた方法で求まる。

以上の画法による近似双曲線線図は、第5.1図の如くである。



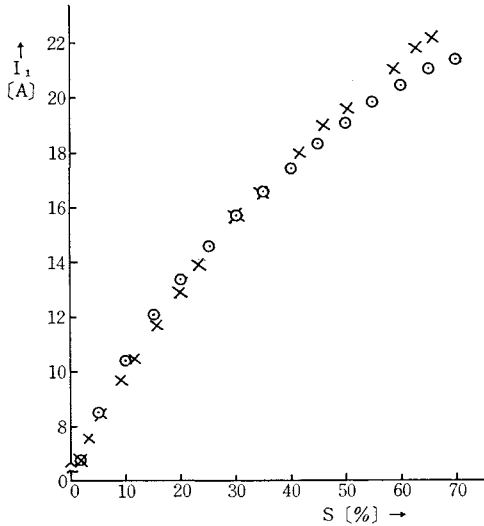
第5.1図 供給端子電圧180[V]時のNo.3機の近似双曲線線図

5.2 諸特性の図値と実測値との比較検討

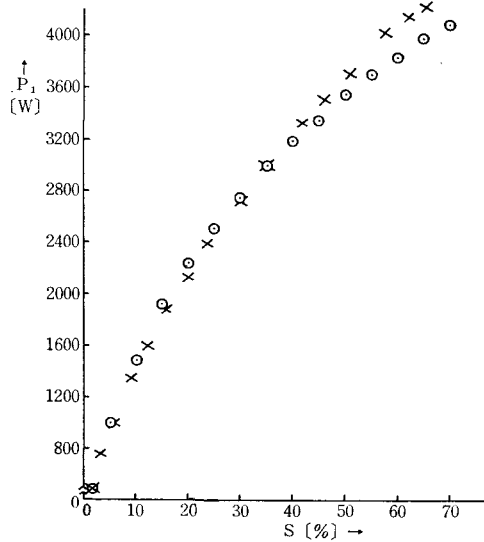
下記の特性曲線図に於いて、第5.2図は[1次電流—すべり]特性曲線、第5.3図は[1次入力—すべり]特性曲線、第5.4図は[出力—すべり]特性曲線、第5.5図は[トルク(同期ワット)—すべり]特性曲線、第5.6図は[効率—すべり]特性曲線、第5.7図は[1次力率—すべり]特性曲線である。なお、図中×印は実測値、◎印は図値である。また、各図中の⊗印は無負荷値である。

次に、各特性曲線の図値と実測値との比較検討を行う。設計値を基準にして、供給端子電圧が200[V]時の入力電流 17 [A] を一応定格電流と見做せば、180 [V] 時の入力電流 17[A]におけるすべり(S)は 38 [%] 付近となる。そして、定格時のすべりを 38 [%] と見做せば、38 [%] 前後のすべり値における各特性曲線の図値と実測値は、多少図値が実測値を上回る傾

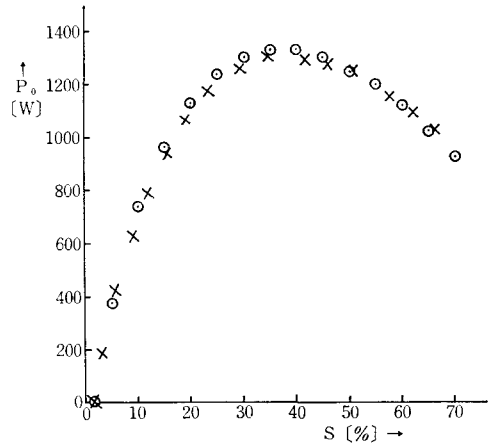
向にあるが殆んど一致しているとしてさしつかえない。即ち、本線図は実用上全く支障が無いと言える。ただ、起動時の1次入力、1次電流の図値が実測値を多少上回るが、この点は使用者が多少な配慮を有し電動機を運転すれば支障はない。



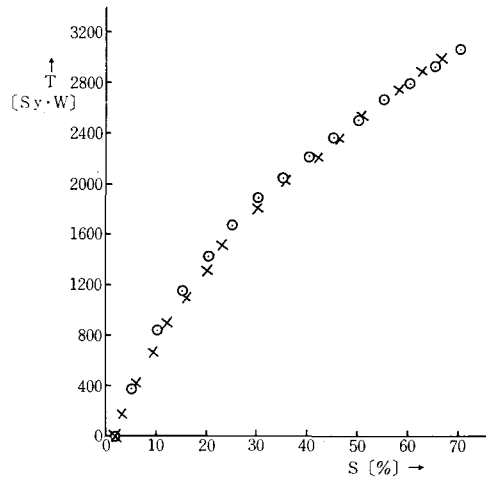
第5.2図 (I₁-S) 特性曲線



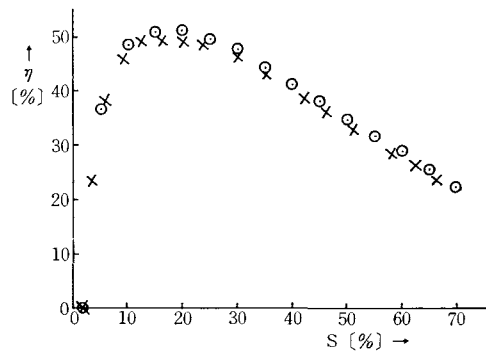
第5.3図 (P₁-S) 特性曲線



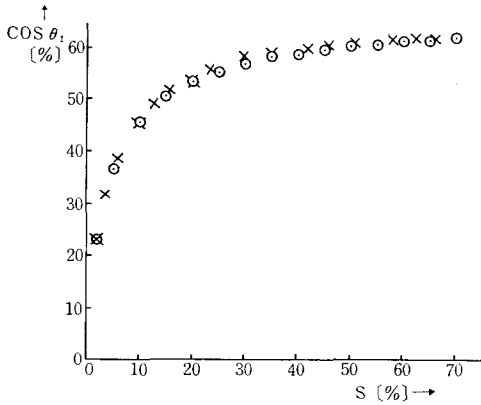
第5.4図 (P₀-S) 特性曲線



第5.5図 (T-S) 特性曲線



第5.6図 (η-S) 特性曲線



第5.7図 (COS θ₁-S) 特性曲線

6. 供給端子電圧 200[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図、及び諸特性の図値と実測値との比較検討

6.1 供給端子電圧 200[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図

(i) 線図画法に必要な基礎資料

線図画法に必要な基礎試験結果は、第6.1表の如くである。

(ii) 電流軌跡及びすべり線の画法

無負荷及び拘束試験の結果、 P_0 点の値は $P_0(x_0=8.12, y_0=1.78)$, P_S 点の値は $P_S(x_S=20.85, y_S=17.16)$ であり、両点を結ぶ直線で電流軌跡が示される。

第6.1表 基礎資料

試験	結果値					
	電圧[V]	電流[A]	力率[%]	すべり[%]	入力[W]	
無負荷試験	P_0 点	200.0	8.3	21.4	1.39	616
	P_S' 点	148.0	20.0	63.6	100	3260
拘束試験	P_S 点	200[V] 換算	27.0	63.6	100	5943
	1次巻線抵抗測定	1次巻線抵抗値, $r_1=0.177[\Omega]$				

すべり線は、実測無負荷すべり $S_0=1.39[\%]$ を対数方眼紙に取り、その点を P_0 点に合せ $P_0\overline{S}$ 上にすべり目盛を定めて、それを電流軌跡上に平行移動することによって求まる。ただし、電流目盛は $K=2/10[A/mm]$ とする。

(iii) 1次銅損線、トルク線及びその他の画法

I_{2S} の長さは、 $I_{2S}=\overline{P_0P_S}=99.5[mm]$ であり、電流値を求めると

$$I_{2S}=\overline{P_0P_S} \times K$$

$$=99.5 \times 2/10=19.9[A]$$

となる。従って、1次銅損の値は

$$P_C=3I_{2S}^2r_1$$

$$=3 \times (19.9)^2 \times 0.177=210.3[W/3相]$$

$$=3.0[mm]$$

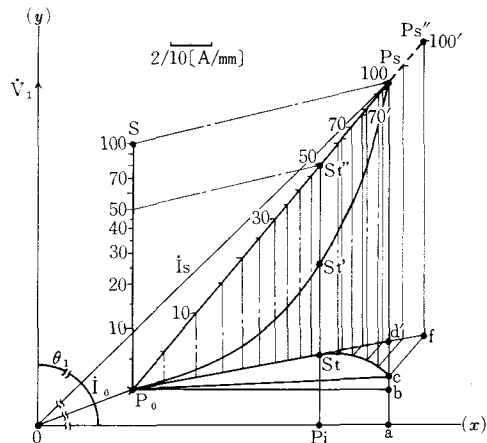
となり、 $\overline{aP_S}$ 上に b 点から 3.0 [mm] を取り C 点を定める。即ち、 $\overline{P_0C}$ が 1次銅損線である。

また、トルク線画法に必要な基準平均すべり目盛の存在のすべり区間長は、40~50[%] 区間の 8.0 [mm] が適当であり、これを用いてすでに述べたトルク線画法で作図すれば第6.1図の $\overline{P_0S_1C}$ の様なトルク線が

作成される。

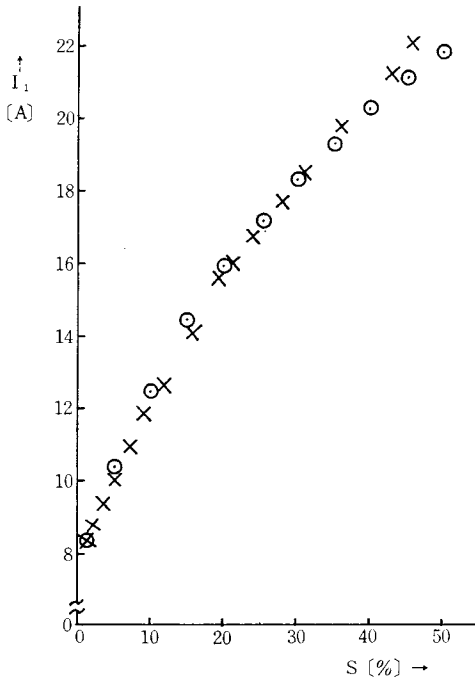
次に出力、効率、1次力率等は(4.2)節(ii)項の算法法によって求められる。

以上の画法による近似双曲線線図は、第6.1図の如くである。

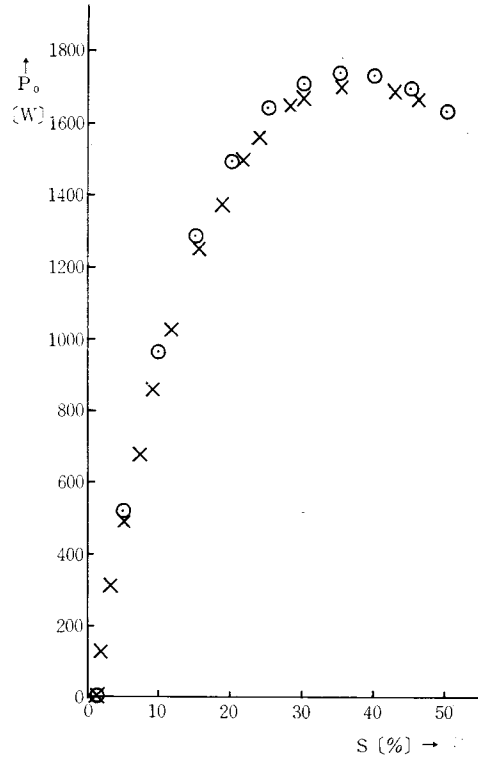


第6.1図 供給端子電圧 200[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図

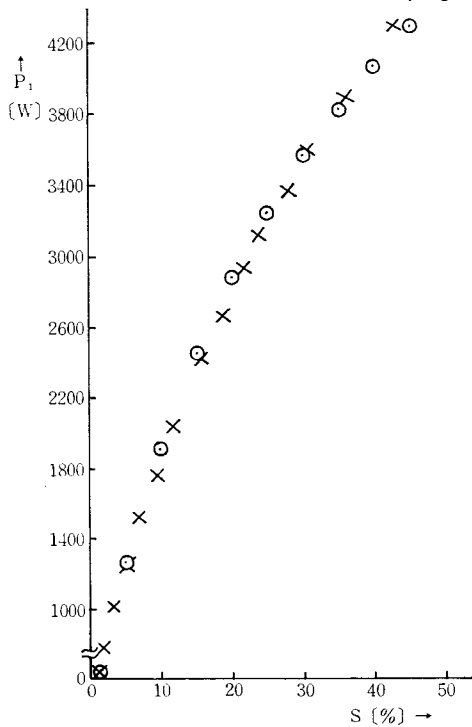
6.2 諸特性の図値と実測値との比較検討



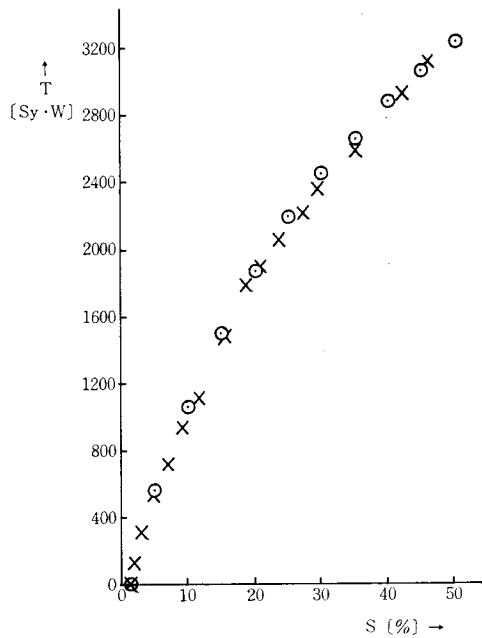
第6.2図 $(I_1 - S)$ 特性曲線



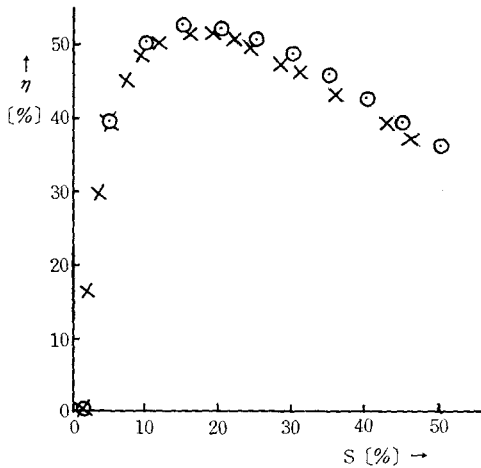
第6.4図 $(P_0 - S)$ 特性曲線



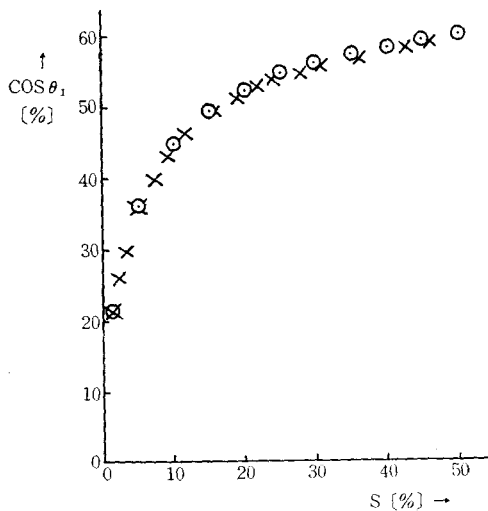
第6.3図 $(P_1 - S)$ 特性曲線



第6.5図 $(T - S)$ 特性曲線



第6.6図 (η-S) 特性曲線



第6.7図 (COS θ₁-S) 特性曲線

上記の特性曲線図に於いて、第6.2図は〔1次電流—すべり〕特性曲線、第6.3図は〔1次入力—すべり〕特性曲線、第6.4図は〔出力—すべり〕特性曲線、第6.5図は〔トルク(同期ワット)—すべり〕特性曲線、第6.6図は〔効率—すべり〕特性曲線、第6.7図は〔1次力率—すべり〕特性曲線である。

次に、各特性曲線の図値と実測値との比較検討を行う。設計値の定格入力電流 17[A] を基準にすれば、定格時のすべり (S) は 25[%] 付近である。この時の実測出力は、1600 [W] となり設計値 2.2[kw] を下回る。この原因は、回転子材料の選定に適切性を欠いている為と思われる。また、各特性曲線の図値と実測値との比較に於いては、各特性とも図値が実測値を多少上回る傾向にあるがすべり (S) が 25[%] 前後で両者はほぼ一致している。即ち、本線図は実用上全く支障がないと言える。

7. 供給端子電圧 220[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図、及び諸特性の図値と実測値との比較検討

7.1 供給端子電圧 220[V] 時の No. 3 機の近似双曲線線図

(i) 線図画法に必要な基礎資料

線図画法に必要な基礎試験結果は、第7.1表の如くである。

(ii) 電流軌跡及びすべり線の画法

無負荷試験及び拘束試験の結果、 P_0 点の値は $P_0(x_0=10.06, y_0=1.97)$ 、 P_S 点の値は $P_S(x_S=23.37, y_S=19.13)$ であり、両点を結ぶ直線で電流軌跡が求まる。

すべり線は、実測無負荷すべり $S_0=1.38[%]$ を対数方眼紙上に取り、その点を P_0 点に合せ $\overline{P_0S}$ 上にすべり目盛を定めて、それを電流軌跡上に平行移動することによって求まる。ただし、電流目盛は $K=$

第7.1表 基礎資料

試験	結果値		電圧[V]	電流[A]	力率[%]	すべり[%]	入力[W]
無負荷試験	P_0 点		220.0	10.3	19.3	1.38	752
	P_S' 点		153.0	21.0	63.3	100	3524
拘束試験	P_S 点		220[V] 換算	30.2	63.3	100	7288
	1次巻線抵抗測定		1次巻線抵抗値、 $r_1=0.177[\Omega]$				

2/10 [A/mm] とする。

(iii) 1次銅損線、トルク線及びその他の画法

I_{2S} の長さは、 $I_{2S} = \overline{P_0 P_S} = 108.5$ [mm] であり、電流値を求めると

$$I_{2S} = \overline{P_0 P_S} \times K \\ = 108.5 \times 2/10 = 21.7 \text{ [A]}$$

となる。従って、1次銅損の値は

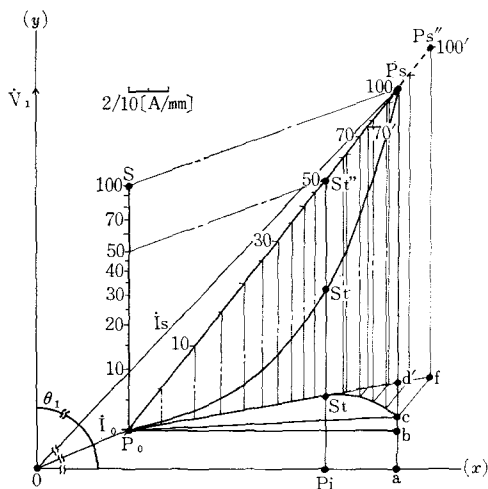
$$P_C = 3I_{2S}^2 r_1 \\ = 3 \times (21.7)^2 \times 0.177 = 250.0 \text{ [W/3相]} \\ = 3.3 \text{ [mm]}$$

となり、 $\overline{a P_S}$ 上に b 点から 3.3 [mm] を取り C 点を定める。即ち、 $\overline{P_0 C}$ が1次銅損線である。

トルク線画法に必要とされる基準平均すべり目盛的存在のすべり目盛(対数目盛)の区間長は、40~50 [%] 区間の 8.5 [mm] が適当である。そして、この 8.5 [mm] を基にして(4.2)節(i)項の方法で作図すれば、第7.1図の $\overline{P_0 S_1 C}$ の様なトルク線が作成される。

また出力、効率、1次力率等は同様に(4.2)節(ii)項の算定法により求まる。

以上の画法による近似双曲線図は、第7.1図の如くである。



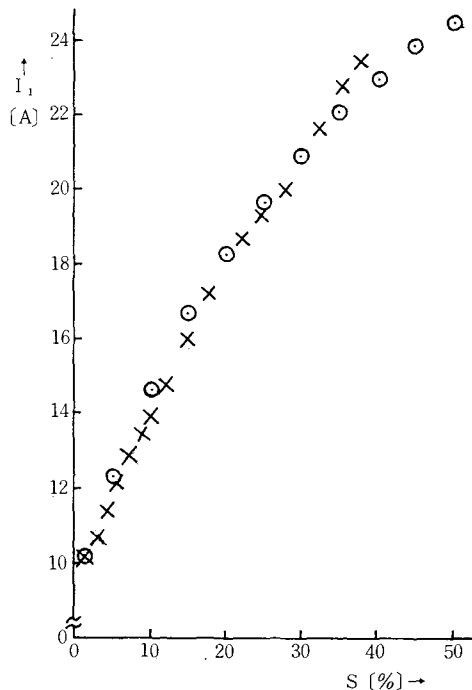
第7.1図 供給端子電圧 220[V] 時の No. 3 機の近似双曲線図

7.2 諸特性の図値と実測値との比較検討

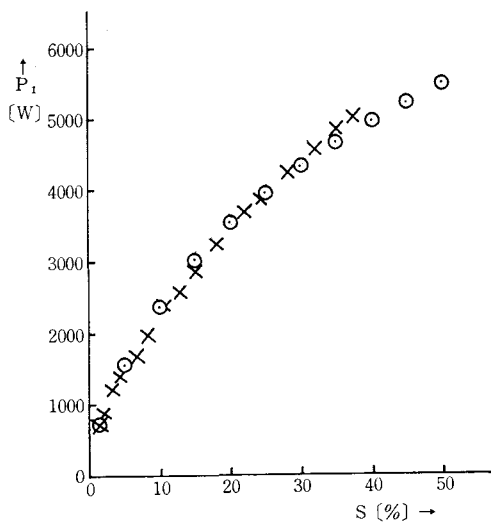
下記の各特性曲線に於いて、第7.2図は [1次電流

—すべり] 特性曲線、第7.3図は [1次入力—すべり] 特性曲線、第7.4図は [出力—すべり] 特性曲線、第7.5図は [トルク(同期ワット)—すべり] 特性曲線、第7.6図は [効率—すべり] 特性曲線、第7.7図は [1次力率—すべり] 特性曲線である。

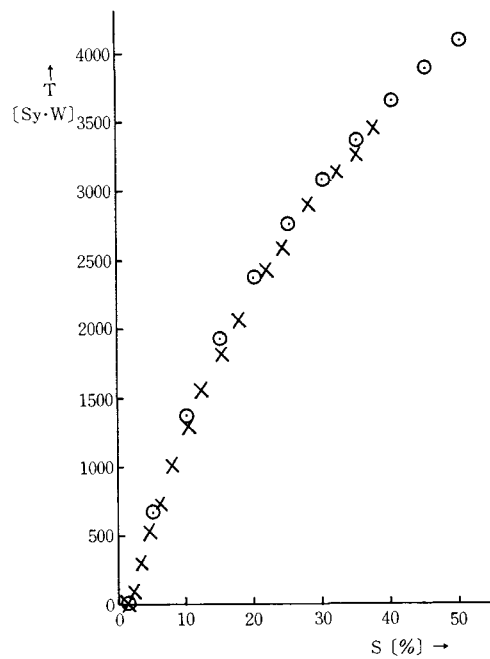
次に、各特性曲線の図値と実測値との比較検討を行う。なお、供給端子電圧 200 [V] 時の設計入力電流値 17 [A] を基準にすれば、その時のすべり (S) は 18 [%] 程度である。ただし、本実験においては、供給端子電圧が 220 [V] であるから実際上定格入力電流及びすべりは若干増加する。実測出力はすべり 18 [%] において 1800 [W] 程度であり、最大値は 2200 [W] (すべり 35 [%] 前後) である。また、効率は 180 [V], 200 [V] 時に比べ優れており 55 [%] 程度である。しかし、1次力率は多少劣っている。また、各特性曲線の図値と実測値との比較に於いては、各特性とも図値が実測値を多少上回る傾向にあるが、その誤差は僅少 (5 [%] 以内) である。即ち、この章に於いても本線図が実用上全く支障ないことが実証された。



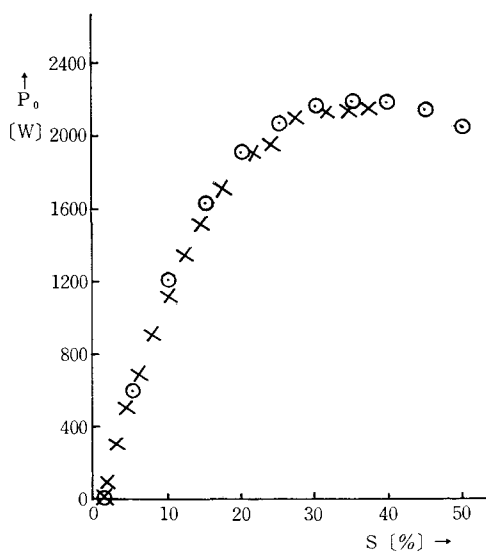
第7.2図 (I_1 -S) 特性曲線



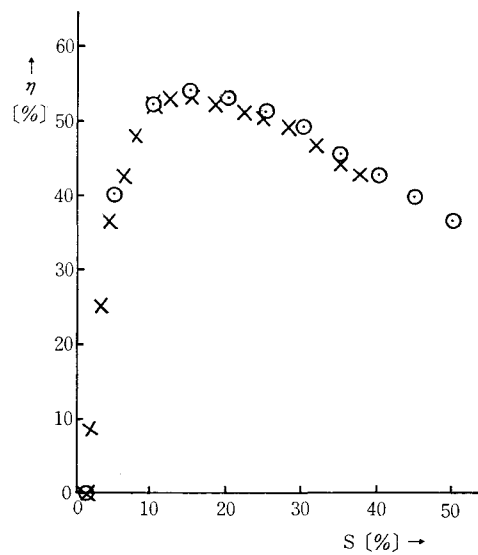
第 7.3 図 (P_1 -S) 特性曲線



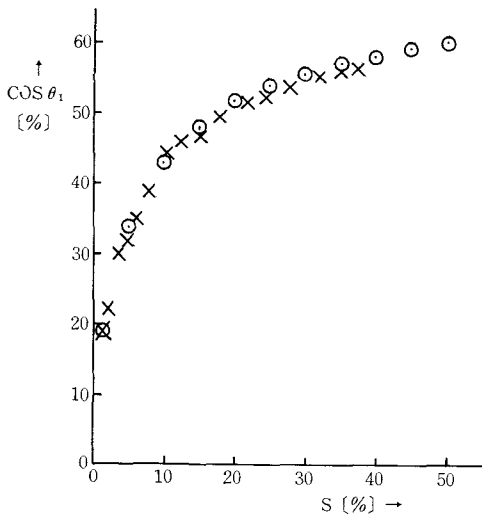
第 7.5 図 (T-S) 特性曲線



第 7.4 図 (P_0 -S) 特性曲線



第 7.6 図 (η -S) 特性曲線



第7.7図 (COS θ₁-S) 特性曲線

8. 結 言

著者等は、本論文に於いて、ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法として実用的近似双曲線図を作成し、その詳細を示した。また、本機が、用途上たびたび電圧可変による速度制御の状態で開催されていることを考慮して、電圧変化時の諸特性が近似双曲線図で求められるか否かを二、三の電圧において検討したのであるが、前述のように電圧変化時に於いても本線図が成立することを確認した。

現在、家庭電機製品の電動機として、ソリッドロータ非同期電動機が使用し始められたことを考えると、本線図は利用価値が多大であると言える。

今後は、本機がインバータを用いた周波数可変(60 Hz 以上も含む)による速度制御の状態で開催された場合、本線図がその諸特性の図式算定法として成立するか否かについての研究を進める。

最後に、論文作成に当り、本学電気工学科卒論学生の石田博朗、石原博三、徳本 学、今吉重信、今田耕三、坪倉正明各君の御協力を得たことに対し謝意を表します。

- 1), 2) 広島工業大学研究紀要第5巻第2号, 「ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法〔双曲線図(近似双曲線図)〕」猪上, 榊ほか
- 3) 広島工業大学研究紀要第5巻第1号, 「ソリッドロータ非同期電動機の図式特性算定法(電流軌跡について)」猪上, 鹿井ほか
- 4), 5) 広島工業大学研究紀要第5巻第2号, 「ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法〔双曲線図(近似双曲線図)〕」猪上, 榊ほか

9. 参 考 文 献

- (1) 広島工業大学研究紀要第5巻第1号, 「ソリッドロータ非同期電動機の図式特性算定法(電流軌跡について)」猪上, 鹿井ほか
- (2) 広島工業大学研究紀要第5巻第2号, 「ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法〔双曲線図(近似双曲線図)〕」猪上, 榊, 鹿井ほか
- (3) 昭和46年度電気学会全国講演論文集, 「ソリッドロータ非同期電動機の諸特性の図式算定法〔I〕, 〔II〕」猪上, 鹿井, 榊, 岡部