

分相始動单相誘導電動機を改造せる 二相サーボモータに就て

佐藤 信*

ON THE TWO-PHASE SERVO MOTOR, THAT WAS DEvised FROM COMMON TYPE SQUIRREL- CAGE SPLIT-PHASE INDUCTION MOTOR

Makoto SATO

Nowadays, with tremendous increase in the use of automation has come an urgent demand for a servomotors. At the author's laboratory, two-phase servomotor was devised from common type squirrel-cage split-phase motor by replacing the laminated core cage rotor with a soft iron solid core, without secondary windings but short rings, and rewinding the stator coils.

In this article the author first gives the preliminary descriptions about the various characteristics and constructions of servomotor which must be taken into account for design purposes, and then he explains designing data for windings and rotor constructions. Testing methods and operating characteristics are also shown with graphs, at last.

Received May 31, 1962.

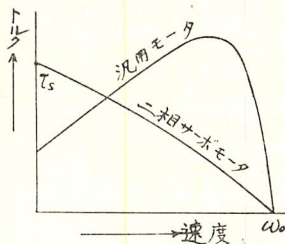
1. 緒 言

最近の自動制御の発展に伴つてサーボモータが広範囲に使用されるようになり、非常に重要な地位を占めるに至つた。わが国に於ける生産数量は急激に増大し、その性能向上に関する研究が盛んになされている。わが国に於けるサーボモータの使用実績は、二相誘導電動機形式のものが他の群を抜いている。著者は扇風機用分相始動单相誘導電動機の固定子巻線の巻き替へと、回転子の改造により、サーボ用として望ましい特性のものを得ようと試みた。即ちソリッドアイアン形二相サーボモータに改造してみたので、その設計と特性の概要を紹介する。

2. 二相サーボモータの特性と構造上の問題

周知のことながら、改造データを記述する前に、二相サーボモータの特性、構造の一般的な概要を述べる。サーボモータの大きな特色は、制御入力に応じて急速に始動・停止・反転を行うために、その特性は始動トルクが高く、单相動作を生ぜず、信号の減少に伴つて行き過ぎを防止するために、速度の増加に比例してトルクの減少するような垂下性の速度—トルク特性を有することである。即ち内部制動効果を有すること

である。第1図に速度—トルク特性曲線を示す。



第1図 速度—トルク特性

動特性は速度—トルク特性の非直線性、摩擦、磁気的吸引力などによる無駄時間が存在する。無駄時間は励磁巻線に定格電圧を印加して、このサーボモータを始動させるに必要な最低の制御電圧の値（最小始動電圧）によつて評価され、定格電圧の1~5%程度のものが普通である。

信号の急変に追従するため応答速度が大でなければならぬ。尚、サーボモータは拘束トルクが制御電圧に比例すると共に、その出力トルクが速度と共に大体直線的に減少することが、制動特性として望ましい。

垂下特性であるから、トルクと速度の積、つまり出力は同期速度の半分位のところで最大になる。又一般に制御電圧が極めて小さく停止状態近くの低速度で動作することが多く、すべり周波数が大きい。又一般に

* 電気工学教室

励磁電流が大きい。従つて効率率共に極めて低い。特に制動特性を良くする程非効率となる。

構造は基本的には汎用の二相誘導電動機と同様であるが、固定子巻線は励磁リアクタンスが小さく、空隙磁束密度が大きくなるように設計される。又効率が悪いから、発熱に対する考慮が必要である。回転子は前述の様な垂下特性にするため、回転子巻線の抵抗を比較的大きくする。又急速な応答を得るため、慣性率を極力小さくする。回転角度によるトルクの変動、即ちコッキング現象を小さくするよう工夫される。又軸受摩擦が小さいことが望ましい。

3. 改造設計

(1) 固定子の設計

第2図の如き鉄心をそのまま使用して巻線のみを変更した。定格電圧 100[V]、平衡二相、二層重巻。

全溝数 $s=24$

極数 $p=4$

每極每相の溝数=3 分布巻係数 $k_a=0.911$

短節度=0.833 短節巻係数 $k_p=0.966$

1相直列巻数 $w_1=540$

1極の最大磁束 $\phi_m=79 \times 10^{-5} [W_b]$

最大磁束に対する平均磁束密度 $B_g=0.5 \left[\frac{W_b}{m^2} \right]$

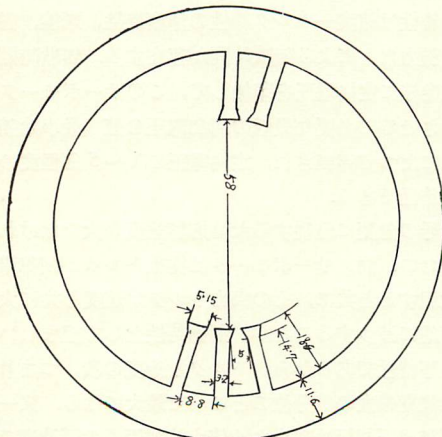
巻線導体 0.6[mm] 丸線 断面積=0.2827[mm²]

1溝の導体数=90本 占積率=25.8[%]

歯の磁束密度 $B_{tm}=1.86 \left[\frac{W_b}{m^2} \right]$

(2) 回転子の設計

第3図の如きソリッドアイアン形のものを作製し

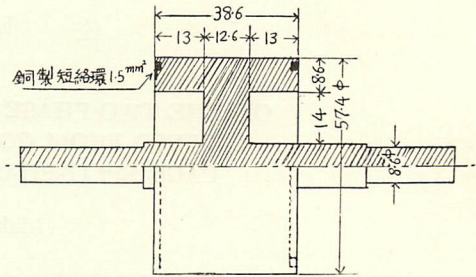


第2図 固定子鉄心

て、従前のかご形回転子と取り替えた。

材質：一般構造用圧延棒鋼

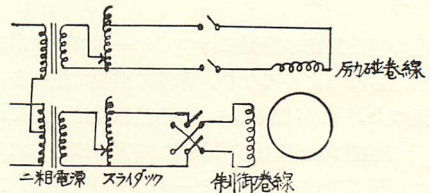
軸受は従前の面軸受をそのまま使用。



第3図 ソリッドアイアン形回転子

4. 試験方法

試験は JISC 4907-1961 によつて第4図の回路により、電圧制御のみを行つた。励磁巻線には定格電圧 100[V] を常時印加しておき、制御巻線には入力電圧の大きさだけを変化して加えて速度制御を行い、制御電圧の位相を 180° 変えて逆転を行う。制御は凡て手動で行つた。



第4図 試験回路

トルクの測定はプーリーとスプリングバランスを用いる方法によつた。

速度の測定はストロボスコープ法によつた。

慣性モーメントは始動付近に於ける近似値として、次の計算式によつて求めた。

$$\text{慣性モーメント } J = \frac{Wr^2}{2} \text{ [gr} \cdot \text{cm}^2\text{]}$$

但し W : 回転子の重量 [gr]

r : 回転子の半径 [cm]

5. 試験結果

(1) 速度—トルク特性

第1表に実測値を示す。

負の速度、即ち $s > 1$ に対するトルクの測定には特別の装置を必要とするので、 $0 \leq s \leq 1$ に於ける実測値を基にして、次式を用いて算定した。

$$T = \frac{1}{4} \left\{ \frac{s}{c_1 + c_2 s^2} (1 + 2k + k^2) - \frac{(2-s)}{c_1 + c_2 (2-s)^2} (1 - 2k + k^2) \right\}$$

但し 入力電圧 ≡ k 定格電圧 c_1, c_2 : 定数

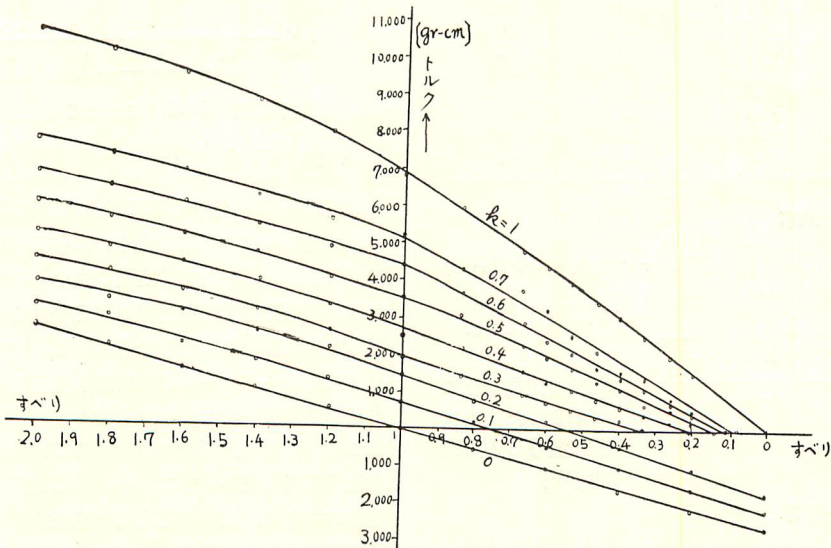
$s < 1$ なる任意 2 点の実測トルクより c_1, c_2 を求めれば、上式により凡ての s の値に対するトルクを算定することができる。第 1 表の実測値より $c_1 = 1.34, c_2 = 0.15$ が得られる。この c_1, c_2 を使用して計算で求めた速度-トルク特性を第 2 表に示す。第 1 表、第 2 表を総合して第 5 図の特性曲線が描かれる。但し $k = 0$ の特性は短絡運転、即ち制御電源の内部インピーダンス

第 1 表 速度-トルク特性 (実測値)

回転数 [r.p.m.]	すべり	トルク [gr-cm]				
		$k=0.3$	$k=0.4$	$k=0.5$	$k=0.6$	$k=0.7$
0	1.000	1930	2460	3507	4450	5200
300	0.833	1443	2125	3040	3610	4250
600	0.667	980	1600	2240	2840	3760
720	0.600	735	1275	1960	2335	3240
840	0.533	530	1080	1675	2065	2535
960	0.466	400	810	1300	1718	2115
1080	0.400	29	620	1110	1470	1593
1200	0.333	60	432	700	1145	1448
1320	0.266	///	216	510	725	834
1430	0.205	///	0	216	409	540
1540	0.133	///	///	0	///	///
1600	0.111	///	///	///	0	///
1640	0.088	///	///	///	///	0

第 2 表 速度-トルク特性 (計算値)

すべり	トルク [gr-cm]								
	$k=0$	$k=0.1$	$k=0.2$	$k=0.3$	$k=0.4$	$k=0.5$	$k=0.6$	$k=0.7$	$k=1$
2.0	2640	3200	3800	4460	5150	5920	6730	7600	10500
1.8	2140	2910	3370	4050	4760	5550	6330	7220	10060
1.6	1650	2230	3150	3640	4380	5100	5950	6800	9500
1.4	1090	1760	2630	3160	3910	4660	5440	6200	8720
1.2	550	1340	2180	2610	3340	4070	4810	5560	7900
1.0	0	684	1500	///	///	///	///	///	6850
0.8	-550	1490	793	///	///	///	///	///	5680
0.6	-1090	-467	182	///	///	///	///	///	4400
0.4	-1650	-1070	-436	///	///	///	///	///	3000
0.2	-2140	-1600	-1065	///	///	///	///	///	1510
0.0	-2640	-2160	-1690	///	///	///	///	///	0



第 5 図 速度-トルク特性

ス極めて小さい場合のものである。

(2) 出力

$k=1$ に於ける最大出力は 34.8[W]

(3) 慣性モーメント

$$J = \frac{650 \times 2.82^2}{2} = 2680 \text{ [gr} \cdot \text{cm]}$$

(4) 応答速度

$$\begin{aligned} \text{時定数 } T[\text{sec}] &= 1.07 \times 10^{-4} \frac{JN}{\tau_s} \\ &= 1.07 \times 10^{-4} \times \frac{2680 \times 1722}{6847} \\ &= 0.0721 \text{ [sec]} \end{aligned}$$

但し J : 慣性モーメント [gr·cm²]

N : 無負荷回転数 [r.p.m]

τ_s : 始動回転力 [gr·cm]

(5) 無駄時間 (最小始動電圧にて評価して)

$$\frac{\text{最小始動制御電圧}}{\text{定格電圧}} = \frac{1[\text{V}]}{100[\text{V}]} = 0.01$$

(6) 単相運転

励磁相に定格電圧を加えて、制御相に各種電圧を加えた無負荷運転状態より停止するまでの時間を測定してみた。その結果は第3表に示す通り、短絡運転に於ては極めて大きな制動トルクを発生していることが知られる。

第3表 停止時間

制御巻線電圧 [V]	停止時間 [秒]		
	励磁, 制御両巻線同時開放	制御巻線のみ開放	制御巻線短絡
5	7.2	1.7	0.8
10	10.5	2.2	0.8
20	15.2	2.8	0.8
30	18	2.9	0.8
40	18.5	3.5	0.8
50	20	3.6	0.8
60	21.5	3.4	0.8
70	22.0	3.4	0.8
80	22.2	3.3	0.8
90	8.0	3.5	0.8
100	8.0	3.5	0.8

(7) トルク効率

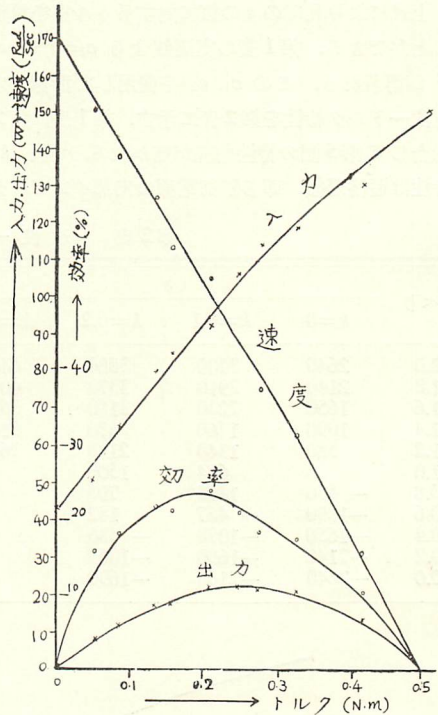
$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{\tau_s \omega_0}{P_I} \quad \text{但し } \tau_s : \text{拘束トルク [N} \cdot \text{m]} \\ & \quad \omega_0 : \text{同期速度 } \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] \\ &= \frac{0.671 \times 2 \times 3.1416 \times \frac{1800}{60}}{211.55} P_I : \text{両相を定格電圧にて励磁した拘束状態に於ける入力電力 [W]} \\ &= 0.605 \end{aligned}$$

(8) パワー効率

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{0\text{max}}}{P_I} \quad \text{但し } P_{0\text{max}} : \text{二次最大出力} \\ & \quad P_I : \text{拘束入力} \\ &= \frac{34.8}{211.5} = 0.165 \end{aligned}$$

(9) 温度上昇

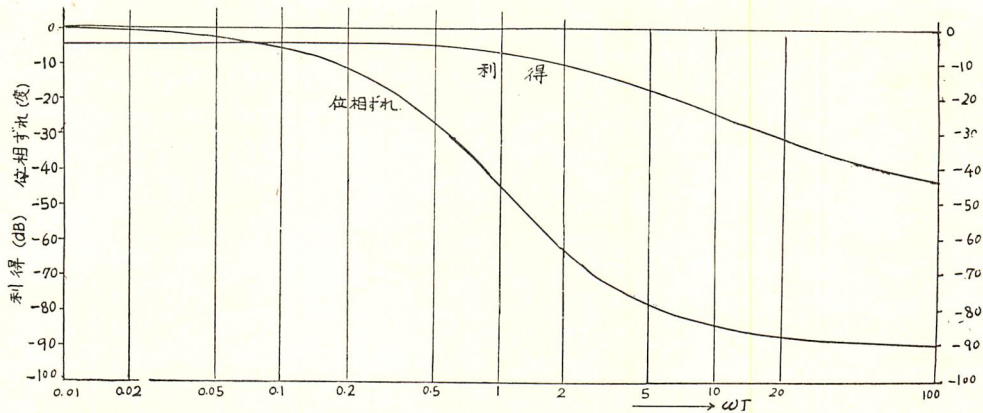
回転子を拘束して励磁相に定格電圧を加えたときの固定子巻線温度上昇をみるに、15分にて 47.5°C 上昇している、まだまだ上昇の傾向がみえる。勿論強制冷却を必要とする。k=0.7のときの特性曲線と、速度定数より計算した周波数特性を第6図、第7図に示す。



第6図 k=0.7における特性曲線

6. 結 言

本試作品の特性をみるに決して勝れたものではない、始動トルクが可成り大きいにも拘らず回転子の慣性性能も亦大きいため時定数が大きくなっている。これは普通形分相誘導電動機の固定子鉄心をそのまま利用したのであるから止むを得ないことである。しかしながら、サーボモータとして最も重要な特性である内部制動効果を有し、しかも殆んど直線的垂下特性になっているから、制動特性は勝れていると言える。最小始動電圧は僅か1%であり、単相運転特性も制御相短絡の場合は、極めて短時間で停止するので、単相運転を持続するようなことはない、これらのことは皆好ましい特性である。以上の特性より見て、動作のあまり急を要しないサーボ機構には結構使用出来ることが判る。尚、以上の如き特性から見て、本試作品は回転



第7図 周波数特性

子抵抗が大き過ぎるように思われる。回転子表面に銅鍍金を施せば、更に大きなトルクが得られ出力も増大

するものと思われる。第4表に内外の製品の数例と本試作品の特性を示してある。

第4表 二相サーボモータの特性例

	周波数 (C/S)	出力 (W)	慣性 (gcm ²)	始動トルク (gcm)	無負荷速度 (r.p.m.)	電圧 (V)	時定数 (近似値) (ms)	形式
アメリカ	60	0.24	4.1	29.5	3030	115/115	40	ドラッグカップ
	60	5	10.2	504	3400	115/115	8	ソリッド
	60	225	1207	13700	3530	115/115	27	かご, 冷却
	400	1.8	3.3	110	5300	115/115	16	かご
	400	35	106	1260	7870	115/115	66	かご, 冷却
国内	50	6.7	16.2	678	2970	100/100	7.5	かご
	50	117	1730	19600	1490	100/100	11	かご, 冷却
	50	0.4	70	100	1000	100/100	150	かご
	400	2.72	3.8	191	5200	115/115	11	かご
試作品	60	34.8	2680	6847	1722	100/100	72.1	ソリッド