

琉球大学学術リポジトリ

塊状鉄心三相リラクタンスモータの非同期始動特性

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2008-04-02 キーワード (Ja): キーワード (En): Solid Rotor Three-Phase Reluctance Motor, Asynchronous Torque Characteristics, Abnormal Phenomena 作成者: 上里, 勝実, 上田, 実 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/5589

塊状鉄心三相リラクタンスモータの 非同期始動特性

上里 勝実* 上田 実**

Asynchronous Starting Characteristics of Solid Rotor Three-Phase Reluctance Motors

Katsumi UEZATO* Minoru UEDA**

Abstract

This paper is concerned with the improvement of asynchronous torque characteristics of a solid rotor three-phase reluctance motor. The experimental results are shown. It has been found that the short-circuited rings are considered to be an advantageous method for the practical application.

The paper also describes experimental results obtained for the synchronous torques in revolution of the motor. A particularly notable result is that the variation in the rotor parameter cause no qualitative change in the torque but do cause a substantial quantitative change.

Key Words: Solid Rotor Three-Phase Reluctance Motor, Asynchronous Torque Characteristics, Abnormal Phenomena.

1. ま え が き

リラクタンスモータは自己始動後自動的に同期に引入れされるので、非同期始動特性および同期引込み特性の改善はきわめて重要な課題である。

塊状鉄心三相リラクタンスモータの回転子は軟鋼などの塊状材料で作られているので、塊状鉄心固有の高抵抗のため、従来の成層鉄心機に比べ始動トルクは比

較的に良く⁽¹⁾、トルク効率(始動トルクと始動KVAの比)が優れている⁽²⁾。しかしながら、非同期トルクは主に塊状磁極に生ずるうず電流によって発生するため、同期速度に近づくほど急激に減少し、同期引込みを困難にする。また突極性のためすべり0.5付近でトルクの急激な陥没を生じ⁽³⁾、それ以上の加速ができなくなる場合がある。この種の電動機に関して、Chalmers氏は回転子表面に軸方向に狭いスリットを設けたり、

受付：1982年4月30日

*琉球大学工学部電気工学科

**名古屋大学工学部電気工学科

† 本論文の一部は昭和54年度電気学会全国大会にて発表

また極間空所に低抵抗の導電材料部分を設けることによって同期引込み特性の改善をはかっているが⁽¹⁾、2極機だけについて議論しており小形の高極機に関しては触れていない。これに対して筆者らは先に、4極機の回転子突極の周りに二次巻線として作用する短絡巻線を設けることが、非同期トルク特性の改善に有効であることを報告した⁽²⁾。しかし、この方法は対象機が小形の高極機のため、回転子の機械寸法の制約により短絡巻線の巻回数に制限を受け、また回転子の堅牢性等その構造上にも若干問題が残されている。

本論文では種々の方法⁽⁴⁾を回転子に施した場合の非同期始動特性を実験結果に基づき比較検討した。その結果、短絡環（突極の周囲に平角銅線で1巻ごとに短絡回路を構成したもの）を設けたものの非同期トルク特性は、短絡巻線や極間空所に導体を配置したものより良く、さらに短絡環は突極に簡単に装着できて堅牢であることなど機械構造上も有利であることを明らかにする。

突極形同期電動機であるリラクタンスモータはギャップパーミアンスが一様でないため、低い次数の高調波磁束が存在し、これらの高調波磁束の作用によって、非同期始動時に悪い影響を及ぼす。すなわち、この電動機は自己始動後自動的に同期入れられるので、始

動時の異常トルク現象の非同期特性に及ぼす影響が問題になることがある。従って、始動時の異常トルク現象を詳細に調べることは重要である。

空間高調波による同期および非同期トルクが多相反動電動機に及ぼす影響についての研究報告⁽⁶⁾はあるが、定量的に詳しく調べられていない。また従来の始動時異常現象に関する研究は、回転子のうず電流が無視できる成層鉄心機を対象にしたもので、回転子にスロットを有しない塊状鉄心リラクタンスモータの始動時異常トルクに関する報告はほとんどないように思われる。

そこで本論文では塊状鉄心三相リラクタンスモータの非同期始動時の異常トルク、主に回転時同期トルクを実験面から検討したので報告する。

2. 供試電動機と実験方法

2.1 試作回転子の設計要件

回転子の設計要件と固定子の仕様を表1に示す。この設計要件より試作した回転子の構造と短絡環や導体棒配置を示したのが図1である。表1に示すように回転子の寸法はA～Fの回転子とも同じである。ただしEだけ回転子直径64.5 mm、鉄心長50 mmである。

Table 1. Design parameters and specification of the tested motors.

要目 回転子	短絡環	極間導体棒	端絡環	短絡巻線
A	2 × 5 mm, 2個 (毎極)	—	—	—
B	—	2 × 5 mm, 4本	13 × 2 t	—
C	—	2 × 5 mm, 2本	13 × 2 t	—
D	—	2 × 5 mm, 2本	13 × 2 t	—
E	—	—	—	1.6 φ, 6回
F	—	—	—	—
材 料	平角銅線	平角銅線	銅 板	ホルマール線
極数：4，定格電圧：200 V，周波数：60 Hz，固定子内径：70 mm，回転子直径69.5 mm，鉄心長：45 mm，スロット数：24，毎極毎相の巻回数：206，固定子巻線の種類：同心巻，星形，スリット長：18 mm，ギャップ長：0.25 mm，鉄心材質：電磁軟鉄（SUY B2 相当品）				
$\beta : 0.5, \alpha_2 : 0.03$				

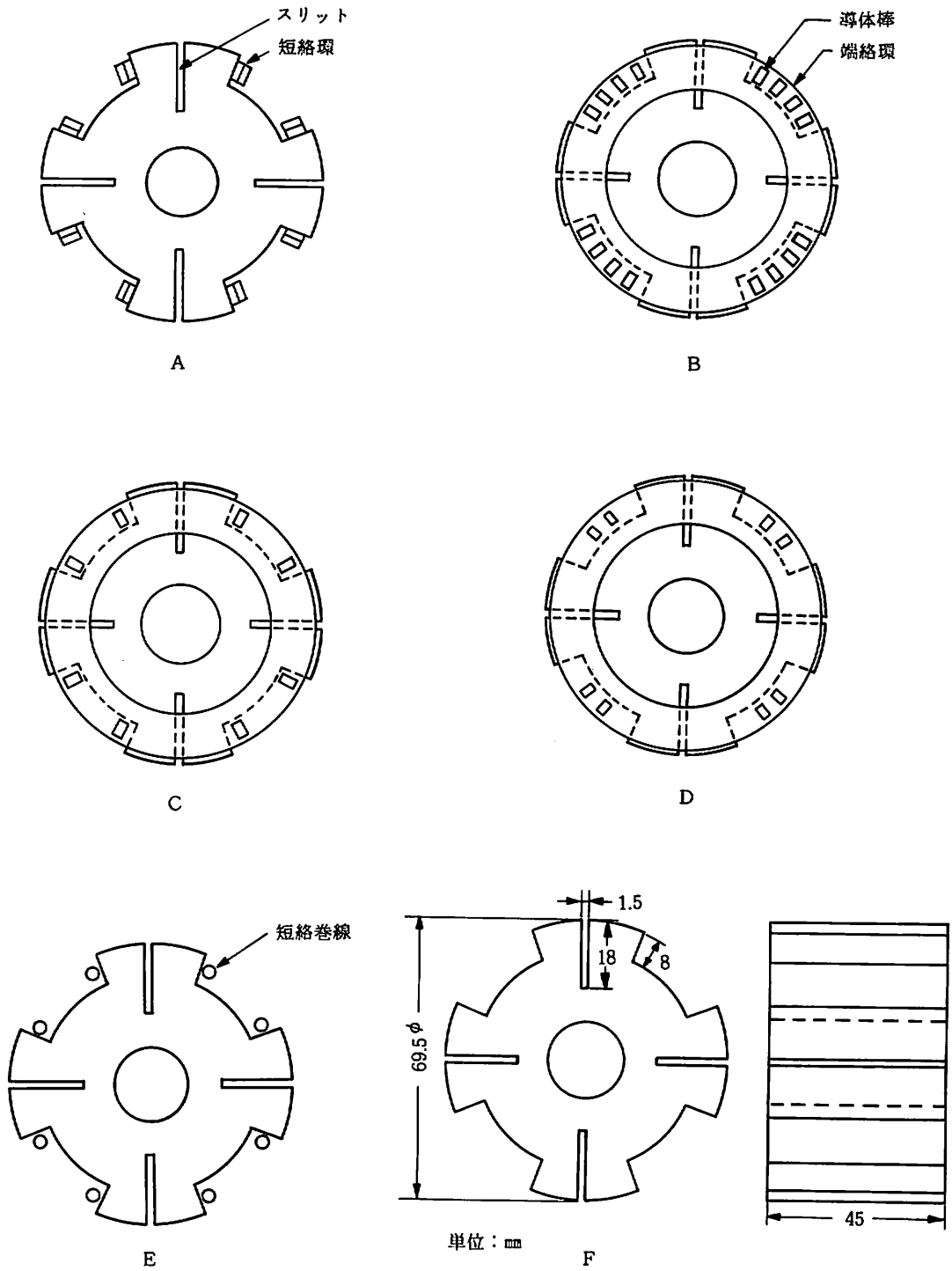


Fig.1 Solid rotor Construction.

(Eのみ回転子直径 64.5 mm, 鉄心長 50 mm)

表中の回転子記号 A, B, C, D, E, F は、それぞれ次の回転子を表わしている。

- A: 突極の周りに短絡環 2 個設けたもの
- B: 極間に導体棒 4 本 (端絡環付) 設けたもの
- C: 磁極周囲に導体棒 2 本 (端絡環付) 設けたもの
- D: 極間中央付近に導体棒 2 本 (端絡環付) 設けたもの
- E: 突極の周りに短絡巻線 6 回巻いたもの
- F: 塊状鉄心磁極だけのもの

端絡環は銅の端板を回転子の両端に取り付けたもので、接触抵抗を小さくするため接合部に銀ペイントを使用した。

2.2 実験方法

供試電動機の非同期特性の実測は、定格電圧で行うと電動機が過熱するなど不都合が生じるので、定格電圧の 1/2 の電圧 (100 V) で行ない、後に定格電圧に換算した。各すべりにおけるトルクおよび電流の算定は文献 (6) に述べられている方法によった。負荷としては損失のわかっている直流発電機を使用した。

実験は図 1 に示す回転子を定格 0.2 kW, 200 V, 4 極の三相誘導電動機の固定子と組み合わせて行なった。

3. 実験結果と検討

回転子構造定数中で最も特性に影響を与える β (= 磁極弧/磁極ピッチ) が、塊状鉄心三相リラクタンスモータの非同期特性に及ぼす影響については、文献 (2) で検討した。その結果、同期および非同期の両特性から適切な β の値として 0.5 付近が妥当であることを示した。このことから本研究で使用する回転子の β は 0.5 とした。

3.1 短絡巻線を設けた回転子

回転子の突極の周りに短絡巻線を巻いた電動機 (図 1 の E) の非同期特性は、筆者によってすでに報告され⁽²⁾、短絡巻線を設けることにより非同期トルク特性が改善されることを示した。すなわち短絡巻線の巻数を増していくとトルクはすべり全域で顕著に増加して、トルク曲線がすべりの小さいところへ移行するので同期引込みを容易にし、同時に始動トルクも増加する。

しかし短絡巻線を設けるこの方法は、回転子突極の寸法や極間空所の広さなど機械寸法の制約を受け、特

に小形機で極数が増えるほど巻線の太さや巻数を適切に選定することが困難になる。また堅牢性など構造上にも問題が残る。

3.2 極間に導体棒を配置した回転子⁽⁴⁾

塊状鉄心回転子に流れる電流は、抵抗の大きい鉄部を流れるのでトルクを発生するためには高い誘導電圧を必要とし、すべりが大きくなって引入れトルクを減少してしまう。そこで回転子のうず電流の通路に供し、非同期トルク特性を改善するため、銅の端板を回転子の両端に取り付け (以後端絡環と呼ぶ)、極間空所に導体棒を配置した回転子を図 1 の B, C および D に示してある。これらのトルク-速度特性を図 2 に、電機子電流-速度特性を図 3 に示す。特性比較のため突極の周りに短絡環を 2 個設けたものの特性も図示してある。

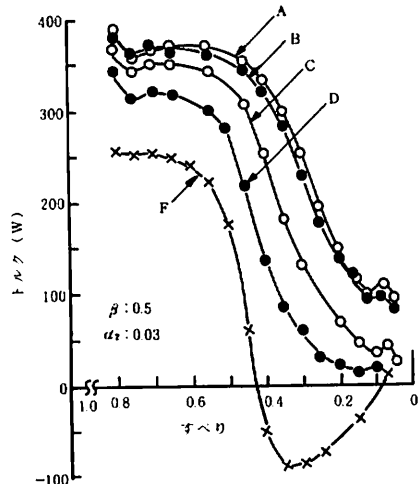


Fig. 2 Torque-slip characteristics.

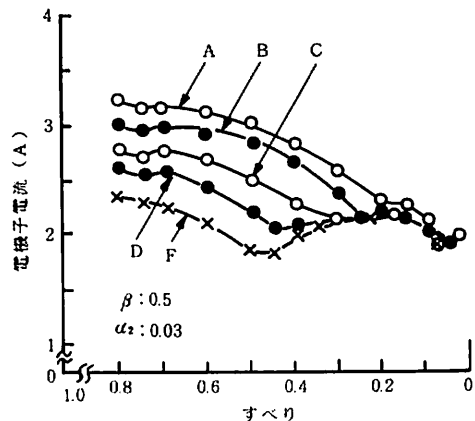


Fig. 3 Armature current-slip characteristics.

前述の短絡巻線の場合と同様に極間の導体棒を増すに従い、すべり全域にわたりトルクは大幅に増加していくことが図からわかる。特にすべりの小さい所でのトルクが大なるので同期引込みを容易にする。回転子が塊状鉄心だけの場合(F)の非同期トルクは、図のようにすべりが0.5付近で落込み負のトルクになるが、A~Dの電動機ではそのトルクの谷がかなり大幅に改善されることがわかる。すべり0.5付近でのトルクの陥没については4.3節で検討してある。

極間空所の中央付近に導体棒を配置(D)するだけではトルクの改善は望めないことが図2から察しられる。この場合極間には磁束がほとんど通らないので、導体棒は非同期電流の通路の役目だけをしていることになるが、等価的には回転子抵抗が減少することになるので、後記の端絡環だけ設けたものに比べてトルクが増大する(図4参照)。

図3はすべりに対する電機子電流の変化を示したものである。すべりの小さいところでは電機子電流の値にあまり差異は見られない。

以上、極間空所に導体棒を配置することにより非同期トルク特性が改善できることを述べた。しかしこの方法は端絡環および導体棒を設けるので回転子構造を複雑にし、構造が簡単で堅固な特徴をもつ塊状鉄心リラクタンスモータのメリットを損うことになりかねない。

3.3 短絡環を設けた回転子⁽³⁾

3.1, 3.2節では短絡巻線や端絡環、そして極間に導体棒を配置することにより、この種の電動機の非同期トルク特性が改善されることを述べたが、これらの方法は回転子の形状寸法の制約を受けるだけでなく、機械の構造を複雑にして堅牢性にも問題があることを指摘した。

短絡環は図1のAに示すように、突極の周りに平角鋼線を用いて1巻ごとに短絡回路を構成したものであるが、その電気的作用は短絡巻線と同様、低抵抗の二次巻線として働く。

図4に短絡環を設けたもののトルク-速度特性を示す。すべり全域にわたりトルクは顕著に増加し、同期速度付近における特性曲線の勾配が大きくなるので、同期引込み特性が良好になることが図からわかる。また図2から見られるように、他の電動機(B, CおよびD)に比べてもトルクが改善されることがわかる。

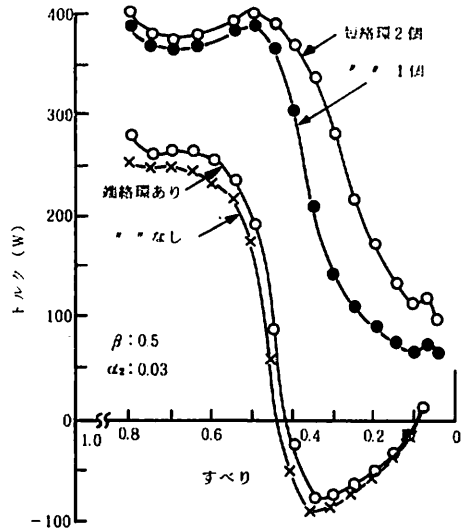


Fig. 4 Torque-slip characteristics.

短絡環無しのものに見られるすべり $s = 0.5$ 付近でのトルクの急激な陥没も大幅に改善されている。これは、すべりの大きいところでは塊状回転子固有の高抵抗のため比較的大きいトルクが発生し、一方すべりの小さい領域では低抵抗の二次巻線として働く短絡環に流れる電流によるトルクが加わることによるものである。

回転子両端に端絡環だけを設けたもののトルクの実測値も図4に示してある。塊状鉄心誘導電動機に端絡環を取り付けると、特性が著しく改善されるとの報告⁽⁷⁾があるが、本供試電動機については図から明らかなように、その改善はほとんど望めないことがわかる。またすべり0.5付近からトルクの急激な陥没が見られる。これは4.3節でも述べるが、突極性に基づき電機子回路に電源周波数 f のほかに $(1-2s)f$ (s : すべり)の電流が流れるために生ずるもので、回転子の設計が適当でないと図示のように負のトルクになることがある。このトルクの谷の大きさは、回転子の構造定数 β, α (=主ギャップ長/磁極間ギャップ長) 及び電機子巻線抵抗や回転子の抵抗などにより大いに影響を受ける⁽²⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ので注意しなければならない。

図5は短絡環を施したものと端絡環の有無によるものの電機子電流-速度特性を示す。すべりが小さくなるに従い短絡環に誘導される電流は減少するので、すべりの小さいところでは短絡環の個数にかかわらず電流の大きさにあまり差異はない。

回転子突極に短絡環を設けることにより、非同期ト

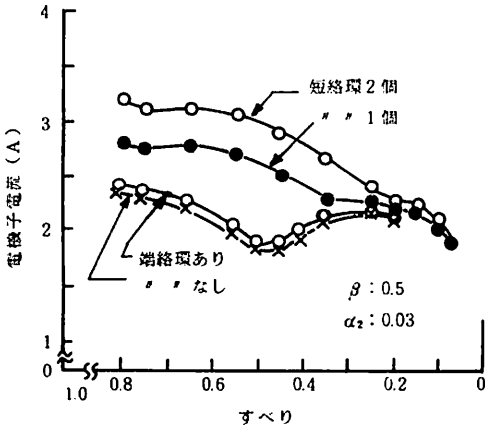


Fig.5 Armature current-slip characteristics.

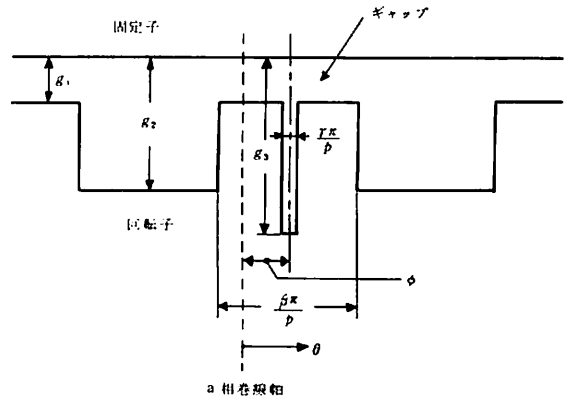


Fig.6 Developed model of the air gap.

ルク特性はかなり改善され同期入れを容易にすることが明らかになった。図1の回転子構造からも推察できるように、短絡環は他の方法よりも簡単に、そして堅固に装着できるので実用に際して有利であると考えられる。短絡環の効果については理論面から考察を加えることも重要であり、これについては今後検討したい。

4. 非同期始動時の異常トルク

一般の交流電動機の始動時の異常トルク現象はギャップ磁束密度中の空間高調波に原因していることは周知のことである。その空間高調波を生じる原因としては、まず固定子巻線配置のためその巻線に流れる電流による起磁力が階段状に分布していること、そしてスロットが存在するためにギャップパーミアンスが一定でなく位置によって変化することが考えられる。リラクタンスモータは回転子が突極構造のため、この突極の存在に基づきギャップパーミアンス分布に変動をきたし、前述の原因によるものの他にさらにギャップ磁束に高調波を含有するので、その異常トルク現象を定量的に調べることは重要である。

4.1 ギャップの磁束密度分布の式

ここではまず、供試電動機(図6にギャップモデルを示す)のギャップにおける磁束密度分布の式を導出して空間高調波の次数を調べてみよう。解析にさきだち以下の仮定を設ける。

- (1) 磁気回路の飽和は無視する。
- (2) 固定子表面およびスリットを除いた回転子表面

は滑らかであるとする。

三相巻線を施した固定子に平衡三相電流を供給する場合の合成起磁力の式 $F(\theta, t)^{(2)}$ と、図6のギャップにそう単位軸長当りのパーミアンスの式 $P(\theta)^{(2)}$ よりギャップにおける磁束密度分布の式 $B_g (= F \cdot B)$ を導出すると次のようになる。ここで電動機はすべり s で回転しているものとする。

$$\begin{aligned}
 B_g = & I_m D [K_1 \cos (p \theta - \omega t) \\
 & + \sum_{k=1}^{\infty} K_{(+)} \cos \{ (6 k + 1) p \theta - \omega t \} \\
 & - \sum_{k=1}^{\infty} K_{(-)} \cos \{ (6 k - 1) p \theta - \omega t \}] \\
 & + I_m E \left[K_1 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin m \beta \pi \cos \{ (2 m \mp 1) p \theta \right. \\
 & \quad \left. - \{ (2 m \mp 1) - 2 m s \} \omega t - 2 m p \phi_0 \} \right] \\
 & + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K_{(+)} }{m} \sin m \beta \pi \cos \{ [2 m \mp (6 k + 1)] p \theta \right. \\
 & \quad \left. - \{ (2 m \mp 1) - 2 m s \} \omega t - 2 m p \phi_0 \} \right] \\
 & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K_{(-)} }{m} \sin m \beta \pi \cos \{ [2 m \mp (6 k - 1)] p \theta \right. \\
 & \quad \left. - \{ (2 m \mp 1) - 2 m s \} \omega t - 2 m p \phi_0 \} \right] \\
 & - I_m F \left[K_1 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin m \gamma \pi \cos \{ (2 m \mp 1) p \theta \right. \\
 & \quad \left. - \{ (2 m \mp 1) - 2 m s \} \omega t - 2 m p \phi_0 \} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K_{(+)} }{m} \sin m\gamma\pi \cos [\{ 2m\mp(6k+1) \} p\theta \\
 & \quad - \{ (2m\mp 1) - 2ms \} \omega t - 2m p\phi_0] \\
 & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K_{(-)} }{m} \sin m\gamma\pi \cos [\{ 2m\mp(6k-1) \} p\theta \\
 & \quad - \{ (2m\mp 1) - 2ms \} \omega t - 2m p\phi_0]] \\
 & \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

ただし,

I_m : 電機子電流の最大値
 $D = 6N\mu_0 R \{ \alpha_2 + \beta(1-\alpha_2) - \gamma(1-\alpha_3) \} / \pi g_1$
 $E = 6N\mu_0 R (1-\alpha_2) / \pi^2 g_1$
 $F = 6N\mu_0 R (1-\alpha_3) / \pi^2 g_1$

$$K_{(+)} = (-1)^k \frac{K_{1(6k+1)}}{6k+1}$$

$$K_{(-)} = (-1)^k \frac{K_{1(6k-1)}}{6k-1}$$

ここで, K_1 : 基本波に対する巻線係数, p : 極対数, t : 時間, k : 正の整数, m : 正の整数, N : 毎極毎相の巻回数, R : ギャップの平均半径, μ_0 : 空気の透磁率, β : 磁極弧/磁極ピッチ, γ : 磁極中心軸上にあるスリットの幅/磁極ピッチ, $\alpha_2 : g_1/g_2$, $\alpha_3 : g_1/g_3$, g_1 : 主ギャップ長, g_2 : 磁極間ギャップ長, g_3 : 磁極中心軸上にあるスリット長, ω : 電源角周波数, s : すべり, ϕ_0 : $t = 0$ の時突極中心軸と a 相巻線軸の間の変位

(1)式から明らかなように, 供試電動機の固定子巻線配置による高調波の次数は $\nu = (6k \pm 1)$ である。また回転子が突極であるために生じる高調波次数は $\nu = (2m \pm 1)$, $\{ 2m\mp(6k+1) \}$ および $\{ 2m\mp(6k-1) \}$ である。また固定子のスロット高調波次数 ν_s は(1)式では無視してあるが, $\nu_s = (6q \pm 1)$ (q : 毎極毎相の固定子スロット数)で表わせる。このようにギャップ磁束密度は上記の種々の高調波成分を含んでいることがわかる。これらの高調波磁束の相互作用によって, 非同期運転時に異常なトルク現象を生じ, 始動が困難になったりするのである。

また, このギャップ磁束が回転子鉄心中に浸透してうず電流を誘導する。この回転子電流は基本周波数のほかにももちろん高調波成分も含み, これらの回転子電流はさらに固定子巻線に高調波電流を誘導し始動異常現象の原因になることも容易に推察できる。

供試電動機の回転子にはスロットがないので, 回転子スロットリップル成分は特に考慮する必要はない。従って電動機としての運転範囲 ($0 < s < 1$) においては, 前述の高調波の中でも低次の $\nu = \nu_r = 7, 13, 25$ および $\nu_s = 13, 25$ 次調波の影響が大であると考えられる。

次節以降においては, 非同期始動時の異常トルクの中でも, 特に特性に及ぼす影響が大である回転同期トルクを実験面から調べることにする。

4.2 各種回転子の回転同期トルク

図7は図1に示すA, D およびFの塊状鉄心三相リラクタンスモータのトルク-速度特性である。図からわかるように, すべり $s = 0.7 \sim 1.0$ で種々の高調波同期トルクおよび高調波非同期トルクが存在しているが, 特にすべり $s = 0.75$ と 0.857 では回転同期トルクが顕著に現われている⁽¹⁰⁾。参考のため塊状鉄心誘導電動機(図中記号I)の特性も図示してある。この電動機は回転子が円筒形構造のため高調波非同期トルクが, すべり 0.85 付近でわずかに見られるだけで他に異常トルクは特に観察されない。

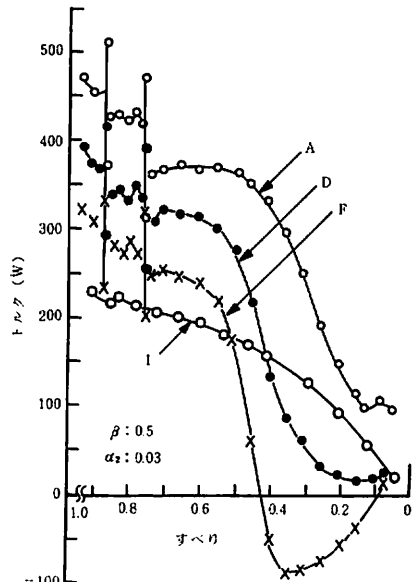


Fig.7 Torque -slip characteristics.

すべり $s = 0.75$ と 0.857 でかなり大きい回転時同期トルクが発生していることは前述したが、これは特に突極機で顕著に現われるもので、突極性に起因した高調波の影響が主因と考えられる。 $s = 0.857$ は同期速度 (1800rpm) の $1/7$ に対応するすべりであり、この特定すべりにおける回転時同期トルクは第7および第13次調波の回転磁界により発生するトルクの影響が優勢に働いているものと思われる。また $s = 0.75$ は同期速度の $1/4$ に相当するすべりである。このすべりにおいて発生する同期トルクも、固定子起磁力のある高調波と同じ速度で回転する回転子起磁力の間に生じるトルクのはずである。

供試電動機は回転子にスロットを設けてないので、従来のかご形誘導電動機の異常現象理論⁽¹¹⁾をそのまま適用することはできない。しかし、非同期運転時の

この種の電動機は誘導電動機動作をするので、回転時同期トルクの質的な面の変化はさほど相違ないものと考えられる。従って、 $s = 0.75$ での回転時同期トルクも誘導電動機の場合と同様に第7次および第13次調波の影響によるものが大きいと考えられる。

次に $s = 0.75, 0.857$ はそれぞれ同期速度の $1/4, 1/7$ のすべりであるので、回転時同期トルクを発生する時の速度は

$$(1 - s) = 1 / (3n + 1) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \infty$ と表わすことができる。

また図示していないが、 $s = 1$ でもこの種の異常トルクの発生が実験により確かめられている。

Table 2. Comparison of the synchronous torque in revolution.

すべり トルク(W) 回転子	0.75			0.857		
	Tmax	Tmin	Tmax-Tmin	Tmax	Tmin	Tmax-Tmin
A	470	312	158	512	372	140
D	394	255	139	415	295	120
F	322	210	112	338	233	105
I (成層鉄心機)	415	364	51	482	346	136

表2は種々の電動機(図1のA, DおよびF)の回転時同期トルクを比較したものである。参考のため成層鉄心リラクタンスモータのトルクも併記してある。すべり $s = 0.75$ と 0.857 におけるそれぞれのトルクの最大値 Tmax と最小値 Tmin を実測より求め、その差 (Tmax-Tmin) を示してある。

表2からわかるように、非同期トルク特性を改善するための方法を施した電動機は異常トルクが大きい。またすべり 0.75でのトルクの差の方がすべり 0.857 でのものより大きい。成層鉄心機(かご形回転子を突極構造に改造したもので、かご形巻線を有する)の場

合は逆にすべり 0.857でのトルクの差が大きくなっている。

4.3 回転子構造定数による回転時同期トルクの変化

ここでは、回転子構造定数の中でも最も重要な β が、回転時同期トルクに如何なる影響を及ぼすかを検討する。表3は β を 0.4, 0.5 および 0.65 に変えた場合の回転時同期トルクをすべり 0.75 と 0.857 について示したものである。この電動機には非同期トルク特性改善のための方法は施していない。上記のすべり以外のすべりでは回転時同期トルクは特に観察されなかった。

Table 3. Effects of varying β on the synchronous torque in revolution.

β すべり トルク(W)	0.75			0.857		
	Tmax	Tmin	Tmax-Tmin	Tmax	Tmin	Tmax-Tmin
0.4	325	270	55	384	227	157
0.5	314	202	112	320	215	105
0.65	204	178	26	258	188	70

β が小さくなるにつれ、つまり突極性が強調されるに従い、トルクの最大値は大きくなる事が表3よりわかる。しかしトルクの差 ($T_{max} - T_{min}$) は、すべり0.75の場合には $\beta = 0.5$ の方が最も大きく、そして、 $\beta = 0.4, 0.65$ の場合とは異なり、その値はすべり $s = 0.857$ のトルク値に近い値になっている。一方すべり0.857では突極性の強いものほどトルクの差は大きくなっている。また同表から、すべり0.857での回転同期トルクがすべり0.75でのものより大きいこともわかる。

一般にかご形誘導電動機の回転同期トルクは、特定の回転子スロット数においてだけ非常に大きな値を示す⁽¹¹⁾が、本供試電動機では β の大きさに関係なく前出のすべり0.75と0.857で、常にそのトルクが観測された。

以上述べたように、 β を変えても回転同期トルクの質には変化は見られないが、その量に著しい変化を生ずることが明らかになった。

ところで、すべり0.5付近でのトルクの陥没は、突極性に基づくものであることは前章で述べた。これは突極のため回転子回路のインピーダンスが不平衡になることが原因と考えられ、いわゆるゲルゲス現象の一種と思われる。このトルクの陥没現象は次のようにも説明できよう。

考察を容易にするため(1)式のすべての高調波を無視すると B_g は次式のように書ける。

$$B_g = K_1 I_m \{ D \cos(p\theta - \omega t) + E \sin p\pi \cos\{p\theta - (1-2s)\omega t - 2p\phi_0\} - F \sin \pi \cos\{p\theta - (1-2s)\omega t - 2p\phi_0\} \} \dots\dots\dots(3)$$

上式の第2項と3項は回転子構造、すなわち突極性に起因するものである。従って、(3)式から、ギャップには電源周波数と等しい角周波数 ω と突極に起因する $(1-2s)\omega$ の角周波数の磁束密度が存在していることがわかる。結局のところ、この $(1-2s)\omega$ の磁束が電機子回路に $(1-2s)\omega$ の電流を誘導してすべり0.5付近でのトルク落込み現象の原因になると考えられる。

5. むすび

以上、種々の方法を回転子に施した塊状鉄心三相リ

ラクタンスモータの非同期トルク特性を実験結果に基づいて検討した。その結果、突極の周囲に短絡線を設ける方法が特性改善および機械構造上からも有利であることを述べた。

また高調波磁束の作用によって発生する非同期始動時の異常トルク、主に回転同期トルクについても実験面から考察した。その結果、普通のかご形誘導電動機の異常トルクに関する理論と一致するすべりにおいて顕著な回転同期トルクの発生を確認した。そして回転子突極の幅によりそのトルクの質には変化はないが、量的にかなり相違のあることが確かめられた。

異常トルクの理論的考察とその改善に関しては、非同期特性の改善を含め今後さらに検討を加えたい。

文 献

- (1) B. J. Chalmers and A. S. Mulki : "Design and performance of reluctance motors with unlaminated rotor", Paper T72 006 -0, IEEE Power Engineering Society, Winter Meeting, Jan. 30-Feb. 4, p. 1562 (1972)
- (2) 上里勝実 : 「塊状鉄心三相リラクタンスモータの特性」, 電気学会論文誌 B, 98巻, 9号, p. 741 (昭53-9)
- (3) 上里勝実, 上田 実 : 「塊状鉄心三相リラクタンスモータの非同期特性」, 昭和53年度電気関係学会東海支部連合大会, No 178, p. 178 (昭53-10)
- (4) 上里勝実, 上田 実 : 「塊状鉄心三相リラクタンスモータの非同期特性の比較」, 昭和54年電気学会全国大会, No 684, p. 862 (昭54-4)
- (5) 加藤邦弘 : 「テンソル法による空間的高調波の導入と多相反動電気機械に於ける高調波トルクについて」, 電気学会電気工学論文誌, 4巻, 3号, p. 151 (昭27-5)
- (6) 電気学会同期機専門委員会 : 同期機試験法要綱 II - 18, p. 26 (昭47-9)
- (7) I. Wolley and B. J. Chalmers : "End Effects in Unlaminated Rotor Induction Machines", Proc. IEE, No 6, (1973-6)
- (8) B. J. Chalmers and A. K. Agarwal : "Importance of direct-and quadrature - axis damper impedance in starting performance

- of salient-pole motors", Proc. IEE, Vol. 113, No. 4, p. 663, (1966-4)
- (9) 小田荘一, 川出猛司：「同期電動機起動特性の新しい計算法」, 明電舎時報, 76号, p. 39 (昭40-10)
- (10) 上里勝実, 上田 実：「始動時の塊状鉄心三相リラクタンスモータの異常トルク」, 昭和54年度電気関係学会東海支部連合大会, No. 157, p. 157 (昭54-10)
- (11) 坪井和男, 秋山勇治, 水野孝行：「誘導電動機の回転子スロット数による始動時異常現象の一般解析」, 電気学会論文誌 B, 100巻, 9号, p. 549 (昭55-9)