日本応用磁気学会誌 27,526-529 (2003)

単相入力-三相パラメトリックモータの内外共通磁路不平衡固定子による特性改善

Improving Method of the Characteristics

of a Single-Phase-Input, Three-Phase Parametric Motor by Using Asymmetrical Stator

八島 崇行 及川 慎也 夏坂 光男 坂本 禎智

八戸工業大学,青森県八戸市大字妙字大開 88-1 (〒031-8501)

T. Yashima, S. Oikawa, M. Natsusaka, and Y. Sakamoto

Hachinohe Institute of Technology, 88-1 Ohbiraki, Myo Hachinohe 031-8501

A three-phase induction motor excited by a single-phase power supply is proposed. We fabricated a small prototype motor with six poles, with an exciting circuit and two parametric oscillation circuits arranged in the stator. The motors were successfully stabilized and improved by using an asymmetrical outer stator core. This paper reports the importance of stator design of the motor.

Key words: parametric motor, parametric oscillation, three-phase induction motor, asymmetrical outer core, 180-degree rotationally symmetrical form

1. はじめに

筆者等は,市販モータと出力·効率が同程度にまで至って おり,市販モータには無い様々な特長を有する平面型パラ メトリックモータについて検討を行っている¹⁾⁻⁵⁾.現在, 市販誘導モータでは,単相モータに比べ三相モータの方が 固定子と回転子間の空隙における起磁力の空間高調波成 分の影響が少ないために,同一出力時の効率が非常に良い. よって,三相モータの利用で省エネルギーが期待出来る. しかし,一般家庭等で三相モータを適用するためには三相 配線の敷設が必要であり,単相配線から使用するためには 三相インバータ等の変換器が必要となるため,価格が高く なりメンテナンスにも問題が生じる.このような背景から, 単相電源で三相回転磁界を有するモータの実現は実用上





Table 1 Stator and rotor dimensions. (Unit: mm)

Motor	Stator									Rotor	
	а	b	с	d_1	d_2	d3	g	t	$D_{ m s}$	1	$D_{\rm r}$
#T3	15	10	10	3	5	4	0.3	20.5	100	19	41.4
#T3-A	15	11	10	3	5	4	0.3	20.5	100	19	41.4

極めて有用であると考え,パラメトリック発振回路を2系 統に設けた三相パラメトリックモータを考案し,動作させ ることに成功した^{2),3),5)}.そして,モータ特性を向上させ る手段として,内側共通磁路に非対称性を施すことが有効 であることが分かったが,120°回転対称形固定子では理 想動作である三相回転領域が得られにくいことが明らか となった⁵⁾.

そこで本論文では、三相パラメトリックモータの発振安 定化および特性改善を目的として、内側及び外側共通磁路 寸法に更なる非対称性を施したモータを作製し、実験及び 検討を行った.その結果、各共通磁路部分に非対称性を施 したことで、動作領域やモータ特性の改善に成功した.本 論文は、これらの検討結果について報告するものである.

2. 基本構成

Fig. 1に本モータの基本構成図を示す. Table 1は実験 に用いた固定子及び回転子各部の寸法である.本モータは 固定子の各磁極を 60° ずつずらして配置し、パラメトリッ ク発振回路2系統を空間的に120°及び240°となるよう に設計を施すことで,回転子部に生成される磁界方向を定 めている. 交流電源 E1 を接続した脚部を励磁側磁路,同 調用コンデンサを励磁側に対し 120°方向に接続した脚部 を共振側磁路 A, 240°方向に接続した脚部を共振側磁路 B. 及び回転子付近の環状部を内側共通磁路,外側環状部 を外側共通磁路と称している. 内側共通磁路はパラメトリ ック発振のための磁気飽和を生じさせるために、外側共通 磁路よりも細くしてある. 材質は 0.5 mm 厚の無方向性け い素鋼板であり、これを 40 枚積層して作製した. 今回作 製したモータは、現在までの研究結果に基づき、内側共通 磁路幅に非対称性を施したモータの中で最も特性が良好 であった、内側共通磁路幅 $d_1 = 3 \text{ mm}$ 、 $d_2 = 5 \text{ mm}$ 、 $d_3 = 4$ mm とした、中心から見て 180°の回転対称形となる形状 の固定子を用いた.これを#T3と称する.また,内側共通 磁路幅は#T3と同様であるが、外側共通磁路幅の一部分 b が 1mm だけ太くなっている固定子を用いてモータを作製 した. これを#T3-A と称する. 巻線数は N1=N2a=N2b= 1000 turn とし、使用する回転子は市販モータと同様のア ルミニウム導体のかご形回転子である.

3. 180°回転対称形モータ#T3の各種特性

内側共通磁路に非対称性を持たせることで,三相に類似 した回転磁界を生成することが可能であることが実験的 に明らかになっている^{2),3),5)}.その中で最も良好な特性を 示し,昨今の固定子設計の基盤となっている180°回転対 称形モータの各種特性について説明する.まず,モータと

日本応用磁気学会誌 Vol. 27, No. 4, 2003

しての動作を確認するために入出力電圧特性について測定を行い、その特性が良好である動作点 $G_a=15 \mu$ F, $G_b=10 \mu$ F について検討を行った.この特性は、パラメトリックモータの動作点を定めるために、励磁電圧 E_1 に対してパラメトリック発振電圧 E_{2a} , E_{2b} がどのように確立するかを把握するためのものである.

Fig.2 に回転子拘束時における入出力電圧特性を示す。 Ei =40 V 付近でパラメトリック発振が確立し, 共振電圧 E2a, E2bが共に誘起されている.同調用コンデンサの容量 の違いから共振電圧値に差が生じているが、電圧値 E1を 変動させてもそれぞれの履歴特性に差異が見られないこ とから、モータとしては安定した回転速度で動作する.ま た, E₁ =70 V 付近で共振電圧 E_{2a}, E_{2b} が減少するが, 2 度目の跳躍現象が見られ両共振回路共に発振が停止する ことなく共振電圧が誘起されていることから、始動トルク の存在を確認できる. Fig.3 は, 励磁電圧 E₁ =87.1 V, 同 調用コンデンサ Ca =15 μF, Cb = 10μF とした場合の回転 数 2200 rpm 時における各部電圧波形である.理想的では ないが、三相に類似した波形が得られた. この時の 2200 rpm 時の位相差は共振側 A では 119°, 共振側 B では 257°となり、位相差としてはほぼ理想に近い値が得られ ている.しかし,この位相差はすべりと共に変化しており, モータとして駆動させるためにはすべりに影響しない安 定した回転磁界の生成が重要となる.

Fig.4にモータ#T3の動作領域図を示す。同図において、 ◎印は三相交流波形に類似した電圧位相差で動作する領 域,○印は共振電圧 E2a 及び E2b の位相差が励磁電圧 E1 に対し±90°で動作する領域,●印は共振電圧 E2a及び *E*_{2b}の位相差が励磁電圧 *E*₁に対し 90°の同位相で動作す る領域であり、それぞれを三相領域、±90°領域、同相領 域と称している.図を見ると、高出力領域において、三相 領域が生成されていることがわかる.また,低出力領域に おいては、±90°領域が多く生成されている.しかし、全 体の動作領域を比べると、その多くを同相領域が占めてい ることがわかる.同相領域は、励磁側に対しての共振電圧 の位相差がそれぞれ 90°であることから, 位相が偏った回 転磁界を有しているため、本モータの理想とする動作では ない. これは、高い負荷が与えられた時に、固定子磁路全 体の磁気飽和が深くなることによって固定子磁気抵抗の 不平衡性が失われ,各発振回路の固定子内磁束の変化が等 しくなったことで E2a, E2b が同相で揃って動作したためと 思われる.そこで、固定子内磁束の不平衡度を、発振現象 に直接起因している内側共通磁路のみではなく,外側共通 磁路にも適応した場合について実験及び検討を行い、モー 夕特性の比較を試みた.

4. 外側共通磁路非対称性モータ#T3-Aの特性

180°回転対称形モータ#T3 は、現在までに作製された 三相パラメトリックモータの中では最良の特性であるが、 その回転動作領域は、理想とする三相回転磁界を有してい る領域よりも回転磁界が一様に偏っている同相領域が大 半を占めている。そこで、モータ#T3の内側共通磁路寸法 をそのままにして、外側共通磁路の一部分 bを 1mm だけ 太く設計したモータ#T3-A について実験を行った。

Fig.5 に回転子拘束時における入出力電圧特性を示す。 *E*₁ =40 V 付近でパラメトリック発振が確立し,共振電圧 *E*_{2a}, *E*_{2b}が共に誘起されている.また,電圧値 *E*₁を変動



Fig. 2 Primary voltage versus resonance voltages at locked rotor state.



Fig. 3 Voltage waveforms of the motor.



Fig. 4 Operation of the motor.

させることによって見られる履歴特性も前述の#T3との差異は見られず,発振確立時の電圧位相差も励磁側に対して ±90°の位相差であった.従って,外側共通磁路幅がパラ メトリック発振現象に与える影響は小さい事がわかった.

Fig.6 は, 励磁電圧 E_1 =60.4 V, 同調用コンデンサ C_a =15 μ F, C_b =10 μ F とした場合の,回転数 2856rpm 時の各部 電圧波形である.モータ#T3 と比較して良好な三相類似波 形が得られた.また,Fig.7 に示すすべりと発振電圧の位 相差の関係を見ると,すべりの全領域において共振側 A の 位相差は 97°,共振側 B が 257°であり,すべりに影響 しない安定した回転磁界が得られていることがわかる.

Fig.8 にモータ#T3-A の動作領域図を示す. モータ#T3 は,高出力時に三相類似回転磁界が得られていたが,同相 領域が多く存在していたために効率は低かった. しかし, モータ#T3-A では同相の回転領域が減少し,安定した回転 領域が増大したことで最大出力 $P_{omax} = 7.7$ W,最大効率



Fig. 5 Primary voltage versus resonance voltages at the locked rotor state.



Fig. 6 Voltage waveforms of the motor.



Fig. 7 Phase of resonance voltage versus rotational speed.

ηmax = 32.6%となり,効率の大幅な向上が見られる.従って,外側共通磁路にほんのわずかな非対称性を加えることで本モータの特性改善が見込まれることが分かった.

5. 特性の違いについての考察

これまでに2つのモータについて検討を行ってきた.そして、180°回転対称形固定子を用いたモータ#T3と外側共通磁路の一部に変化を施したモータ#T3・Aでは、Fig.2とFig.4から、パラメトリック発振現象自体に大きな違いが現れた. 見られなかったが、出力・効率特性に大きな違いが現れた. そこで、この特性の違いについて考察を試みることとする.

Fig.9 に三相パラメトリックモータの固定子のみの磁気 回路モデルを示す.ここで, Ro, Rol は外側共通磁路磁気 抵抗, Rm は磁極磁気抵抗, Rl, R2, R3 は内側共通磁路 の各磁路幅に対する非線形磁気抵抗である.今回検討した



Fig. 9 Magnetic circuit model of three-phase parametric motor.

 R_{0}

 R_{01}



Fig. 10 Search coil position.

2 つのモータにおいて,異なる部分は R₁の部分である. いま、励磁状態としてパラメトリック発振が確立する前で あるとした場合、各固定子磁路部分の磁束動作が線形であ るため、外側共通磁路磁気抵抗 R。, Rui は線形磁気抵抗の 式 R=1/uSで表される磁路断面積 Sの変化によってモー タ特性に影響を与えたと考えられる.従って,固定子内の 磁束がどのような分布をしているか把握する必要がある. そこで、固定子の各部分に磁束測定用のコイルを巻き、磁 束密度を調べる. Fig.10 に固定子に設置した探りコイルの 位置を示す. Fig.11(a), (b)に#T3 及び Fig.12(a), (b)に #T3-A の回転子拘束状態における固定子磁路各部の磁束 密度励磁電圧依存性を示す.ここで、各チャンネルの名称 は各探りコイル位置の番号と一致している.ここで,内側 共通磁路磁束密度 B10 と B13, B11 と B14, B12 と B15 はそ れぞれ同一の値を示していたため, B10, B11, B12 を代表 値としている.同様に外側共通磁路磁束密度も B4 と Bn,

日本応用磁気学会誌 Vol. 27, No. 4, 2003

B₅とB₈, B₆とB₉からB₄, B₅, B₆を代表値とした. ここで各モータの外側共通磁路磁束密度 B4, B5, B6 に 注目する.双方を比べると、外側共通磁路部の磁気抵抗に 違いがある B。において、磁束密度の値がほぼ変わらない ことがわかる.しかし、磁極磁束密度 B3を見ると、65 V 付近での磁束密度の増大が#T3よりも#T3-Aの方が大きく なっている. これは, #T3·A の外側共通磁路 B:の断面積 S が広くなったことによって磁気抵抗が小さくなり、隣接し ている共振側 B に磁束が流れ込みやすくなったことから B3が多くなったものと思われる.また,内側共通磁路磁束 密度 B10, B11, B12 に注目する. パラメトリック発振を生 じる約 1.4 T付近の磁束分布を見ると, #T3 では 40 V付 近での B10と B12が同時点で急激に増大している. そして, 65 V付近で Buiが急激に増大することで2度目のパラメト リック発振が起こり、B10, B11, B12 が飽和に至る.しか し, モータ#T3·A では 40 V 付近で B10 が先に増大してお り、B12とは値が異なっているため、磁束密度の不平衡度 が大きくなっている. そして, 65 V付近で2度目のパラ メトリック発振が起こっても B10と B12の不平衡度は大き くなっている.よって,モータ#T3 では発振確立時に B10 と B12の不平衡度が小さいことから、同相領域となりやす い磁束の流れが形成されたものと思われる.これに対して, モータ#T3·A では,発振確立時に B10 が先に増大し,この 時に B12と磁東密度の不平衡度が大きくなることから安定 した回転磁界を生成する磁束の流れが出来やすくなり、同 相領域が改善されたと思われる.これらの結果より,固定 子の磁束密度分布を明らかにする事で、磁気抵抗の違いに よる磁束の大まかな流れを把握することが出来た.

6. あとがき

以上,180°回転対称形固定子を用いたモータ2機種について,実験及び検討を行った.今回得られた結果を以下 にまとめる.

- (1) 三相パラメトリックモータにおいて、内側共通磁路の みならず外側共通磁路寸法も非対称形状とすること で出力・効率特性を改善できることが明らかになった.
- (2) 外側共通磁路に不平衡性を設けたが,発振の安定性に は影響しない.しかし,動作領域を改善させる効果が ある.
- (3) 三相回転磁界を有するためには、固定子内磁束分布が 不平衡となる固定子設計を施すことが有効である.

なお,本研究の一部は,文部科学省科学研究費基盤研究 (C)による.

文献

- T. Ogasawara, T. Ohkubo, M. Natsusaka, Y. Sakamoto, and K. Murakami: *T. IEE Japan*, MAG-99-97, LD-99-91(1999)
- 2) T. Ohkubo, M. Natsusaka, and Y. Sakamoto: T. IEE Japan, MAG-00-175 (2000)
- Y. Sakamoto, T. Ohkubo, M. Natsusaka, M. Ohta: T. IEE Japan, RM-00-118 (2000)
- T. Ogasawara, T. Ohkubo, Y. Sakamoto, and K. Murakami: J. Magn. Soc. Japan., 24, No. 4-2, pp. 995-998 (2000)
- T. Yashima, T. Hiwatashi, T. Ohkubo, M. Ohta, M. Natsusaka, and Y. Sakamoto: J. Magn. Soc. Japan., 26, No. 4, pp. 673-676 (2002)
 2002年10月7日受理, 2003年1月17日採録

(i) B_1 B_1 B_2 B_2 B_3 B_4 B_2 B_2 B_2 B_3 B_4 B_2 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_2 B_3 B_3 B_2 B_3 B_3

2.0



(b) Magnetic flux density in inner and outer cores.





(b) Magnetic flux density in inner and outer cores.

Fig. 12 Magnetic flux density of locked rotor state in #T3-A motor.