くまとり極電動機の広空げき部の影響

Effect of Wide Air Gap Part in Shaded Pole Motor

大 岡 宏* Hiroshi Ôoka

要

リラクタンス増加くまとり極電動機の広空げき部の効果を調べるために,その寸法を変えた数種類の試験機 を作成し,特性および磁束を測定した。実験の結果,広空げき部を設けると,始動トルクをはじめ加速過程の トルクが全般的に向上することがわかった。また理論式に基づいて特性計算をしたところ,測定値とよく一致 した結果を得た。

旨

1. 緒 言

家庭電気品などに大量に使用されているくまとり極単相誘導電動 機は、構造は簡単であるが技術的に興味のある問題を多く有してい るので、これまでに種々の研究が行なわれている^{(1)~(4)}。

ここに述べるリラクタンス増加くまとり極電動機はその改良形の 一種であって、くまとり巻線の反対側の磁極面に段を設け、その部 の空げきを他部の空げきよりも大きくした構造である⁽⁵⁾。

筆者はさきに,この電動機の解析を試み計算結果を発表した が⁽⁶⁾⁽⁷⁾,次に実際の電動機について,段の部分の寸法が性能に及ぼ す影響を実験によって明らかにしたいと考えた。 すなわち,均一空げきのときには始動できなかったものが,磁極 に段をつけて空げき長を不均衡にすることにより,電動機は始動す ることが可能となる。その原理をくまとり極電動機に応用し,広空 げき部を併置してやれば,くまとり巻線だけの場合よりも始動トル クが増大する。

3. 回路の解析

この電動機の解析についてはさきに詳述しているので、ここでは 要点を紹介するにとどめる。図2に、2極機を例にとって示してい るように、磁極を広空げき部、狭空げき部、くまとり部の3部分に 分割し、a相、b相、c相と名づける。各相空げきを見込む中心角 を $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ (電気角)とする。

そこで、この部分の寸法を変えた試験用電動機を製作し、トルク、 電流、入力および空げき各部の磁束を測定した。これらの実験の結 果、広空げき部の効果とその適当な寸法について、一応の傾向を知 ることができた。ここに報告して関係者の参考に供する。

2. 構 造

リラクタンス増加くまとり極電動機の構造は図1に示すとおりで ある。図示のように,空げき長が一様ではなく,くまとり巻線の反 対側の磁極面に段があり,この部の空げきが他の部の空げきよりも 大きくなっていることが特徴である。それぞれを広空げき部,狭空 げき部と名づける。

いま,くまとり巻線がない状態を考える。一次巻線に単相交流電 圧を印加した場合,回転子には始動トルクが発生し,広空げき部か ら狭空げき部に向かって矢印の方向に回転し始める。



空げきの各部を通過する界磁磁束を $\phi_a, \phi_b, \phi_c, 漏れ磁束を\phi_1, \phi_2, \dot{\phi}_3, \dot{\phi}_s$ と名づける。

a, *b*, *c* 各磁極には, それぞれ, 独立した巻線が巻かれているものと仮定し, その巻線によって生ずる方形波(または台形波)状の磁束をフーリエ級数に展開し, もとの電動機をそれと等価な高調波電動機群に置きかえる。そして各高調波電動機について, 単相誘導電動機に関する回転磁界理論を適用すれば, 図3の等価回路が得られる。



* 日立製作所日立研究所

図2 磁束の種類

図において、 R_1 : 一次巻線抵抗、 R_s : くまとり巻線抵抗、 R_i : 鉄 損等価抵抗、 x_1, x_2, x_3, x_s : それぞれ漏れ磁束、 $\dot{\phi}_1, \dot{\phi}_2, \dot{\phi}_3, \dot{\phi}_s$ によっ

5

204日立評論

VOL. 54 NO. 3 1972



て生ずる漏れリアクタンス, \dot{E}_{flmn} : l 相の前進 n 次高調波磁束に よってm相に誘起する電圧, Ébimn: l 相の後進n次高調波磁束によ ってm相に誘起する電圧,ここに,第1添字のfは前進磁束を示し, bは後進磁束を示す。第2添字のlは磁束の発生する相を示す(l= a, b, c)。第3添字のmは電圧の発生する相を示す(m=a, b, c)。 第4添字のnは高調波の次数を示す。



このt($stat_a$)× θ_a で表わされるが、比較する場合の便宜上、次 の二つの係数を用いた。

空げき長係数	$\alpha = l_a/l_g \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots $
スパン係数	$k_{\rm sh} = \theta_a / 180^\circ \tag{12}$

すなわち, αは広空げき部の空げき長が狭空げき部のそれに対す る倍率を示し、k_s, は広空げき部の極弧の長さが1極の極弧の長さ に対する割合を示している。このようにして製作した供試機を用い て, 電動機の各速度におけるトルク, 電流, 入力を測定した。測定 にあたっては、供試機をヒステリシスブレーキ式動力計に直結し、 動力計の制御装置を操作して供試機の負荷を変化させ、その速度を 無負荷速度から静止に至る範囲に変化させて各速度に対応するトル ク,電流,入力を検出し、X-Y軸記録計に入れてトルク(または電 流,入力)-速度曲線を描かせた。

l 相のn次高調波磁束によって, m 相に誘起する電圧を Éimn と すれば,

 $\dot{E}_{lmn} = \dot{E}_{llmn} + \dot{E}_{blmn}$ $= \dot{Z}_{lmn} \dot{I}_l \qquad (1)$ ここに、 I_l : l相 (l=a,b,c)の電流 Ż_{lmn}: l相とm相の相互誘導に伴うインピーダンス 等価回路に基づいて,次式によって電流を計算することができる。 $\dot{I}_c = -V\xi_2/\Delta$ (3) $\Delta = \xi_1 \zeta_2 - \xi_2 \zeta_1 \qquad \dots \qquad (4)$ ここに, $\begin{aligned} &\xi_1 = R_1 + j x_1 + j 0.5 x_3 + \sum_{m, n} (\dot{Z}_{amn} + \dot{Z}_{bmn}) \dots (5) \\ &\xi_2 = -(R_s + j x_s) + j 0.25 x_3 + \sum_n (\dot{Z}_{acn} + \dot{Z}_{bcn}) \dots (6) \\ &\chi_1 = j x_2 + j 0.5 x_3 + \sum_{m, n} \dot{Z}_{cmn} \dots (7) \\ &\chi_2 = R_s + j x_s + j x_2 + j 0.25 x_3 + \sum_n \dot{Z}_{ccn} \dots (8) \end{aligned}$ n次高調波による発生トルクは、次式で与えられる。 $T_n = R_{eal} \{ n \sum_{l,m} \bar{I}_m (\dot{E}_{flmn} - \dot{E}_{blmn}) \}$ = R_{eal} { $n \sum_{l,m} [\bar{I}_m \dot{I}_l (\dot{Z}_{flmn} - \dot{Z}_{blmn})]$ 同期ワット...(9) ここに I_m は I_m の共役複素数を示している。 R_{eal} は実数部をとる

ことを示している。求めるリラクタンス増加くまとり極電動機のト ルクは、これらの高調波電動機の発生トルクの総和で与えられる。

4. 広空げき部の寸法と特性との関係

試験機として、図4に示すような構造の出力35W,4極くまとり 極電動機を用いた。くまとり巻線は1極について1個である。この 電動機の磁極内面に段を設け、その寸法を違えて各種の試験機を製 作した。図において、tは段の深さを表わし、 θ_a は広空げき部を見 込む中心角(電気角)で、この部分の弧の長さを表わしている。広空 げき部の空げき長しょは,

段の深さ tを一定とし、極弧 θ_a を変化した場合、すなわち、空げ き長係数 α が一定で, スパン係数 ksp を変化させた場合のトルク-速 度特性は図5に示すとおりである。図において, kspは1から5まで



スパン係数 ksp を変化した場合のトルク-速度特性 図 5



 $l_a = l_g + t \tag{10}$

となる。

6

ここに、*l*_g:基準空げき長(=狭空げき長)、広空げき部の寸法は

くまとり極電動機の広空げき部の影響 205









図9 空げき長係数αとトルクとの関係



図8 空げき長係数αを変化した場合のトルクー速度特性

の番号で表わされており、その大きさは1<2<3<4<5の順になっ ている。 ksp 番号の1は広空げき部がない普通のくまとり極電動機 に相当する。この電動機の定格出力時のトルクを基準にとり100% とした。以下同様である。図6は、パラメータ ksp を横軸にとり、 始動トルクT_s, すべり 0.6 付近における谷部のトルクT_v, 最大トル ク T_m , すべり 0.1 における 高速時 トルク $T_{0.1}$ の各値を プロットし て示したものである。同図において実線は測定値,破線はさきの理 論式を用いて計算した値を示している。ks,が増加するにつれて,始 動トルクをはじめ加速過程のトルクが増加していることがわかる。 しかし、すべり 0.1 付近の高速時には、ksp に対するトルクの関係は 逆になり, ksp が1の場合が最も大きく,以下順次低下している。し かしその傾斜はゆるやかで、大きな相違はない。一般に、くまとり 極電動機ではすべり 0.6 付近で,トルクー速度曲線に第3高調波磁束 に原因する谷を生じていることが多く,本例でもそれが示されてい るが, kspの値を増していくことによってそれが浅くなり,ついには 消失していく有様がうかがわれる。 図7はkspをパラメータとした ときの電流-速度,入力-速度曲線を示したものである。 ksp が増加 するにつれて、電流、入力とも増加している。 図8はスパン係数 k_{sp} を一定に取り、空げき長係数 α の値を変化させた場合の、トル ク-速度特性曲線を描いたものである。図において、αは番号1'~ 4'で表わしており、その大きさは1'<2'<3'<4'の順になっている。 α=1'は広空げき部なしの場合に相当している。図9はαを横軸に とり、T_s, T_v, T_m, T_{0.1}の各トルクの値をプロットしたものである。 この場合も αの増加につれて, 始動トルク Tsをはじめとし, 加速 過程のトルクが増加している。高速時のトルクT_{0.1}は,前図と同様 に, αが1'の場合を最高とし, αの増加に伴い減少している。αが 4'のように大きい場合には、T_{0.1}の減少が著しい。図 10 は、同じ試 験機について測定した電流と入力の変化を示したものである。この ように、広空げき部は始動時トルクの向上、特にすべり 0.6 付近の 谷部のトルクを向上させるのに著効があり、くまとり極電動機の特

図10 空げき長係数 a を変化した場合の電流,入力-速度特性

性の改善と用途の拡大に役だっている。電流,入力が若干増加する がもともと小容量機であり,高速時のトルクの減少も,ファン用途 が多いのでそれほど問題にならない。広空げき部の寸法をどのよう に決定するかについては,負荷それぞれの性質によって,*T_s*,*T_v*, *T_m*,*T*_{0.1}の各トルクに対する要求の度合が違っているし,電流,入 力および温度上昇の制限がある。また,くまとり極弧との関係もあ っていちがいには言えない。

5. 空げき磁束の測定

リラクタンス増加くまとり極電動機の各部の空げき磁束の状態を 明らかにすることは、この電動機を理解する基礎となるものであり、 技術的にも興味深い問題である。そのため図4に示したように、磁 極の極面a, b, c 各部に、その面積一ぱいに矩(く)形状のさぐりコ イルを設置し、磁束量とその印加電圧に対する位相角を測定した。 図11は測定回路を示したものである。a, b, c 各部を通過する磁 束はさぐりコイルに電圧として検出され、積分され増幅されて、 X-Y軸記録計に導かれる。同時に、電動機は前項と同様に動力計に 付随した速度計発電機に生ずる速度電圧が X-Y 軸記録計に送られ





図11 磁束と位相角測定回路

7

206 日 立 評 論

て、磁束-速度曲線、位相角-速度曲線が記録される。図 12 は、 α を 一定としスパン係数 k_{sp} を変化した場合の、磁束-速度曲線である。 図において、破線は広空げき部の磁束、実線は狭空げき部の磁束、 鎖線はくまとり部の磁束を示している。くまとり部のそれは繁雑さ を避けて帯で表わしてある。以下同様である。パラメータの数値 は k_{sp} である。

広空げき部の広さ(スパン)に応じて磁束が配分されている様子が わかる。くまとり部の磁束は各速度においてほぼ同じ値を保ってい る。図13は,上記と同条件で測定した各磁束の印加電圧に対する位



VOL. 54 NO. 3 1972

相角を示したものである。印加電圧から90度遅れた点を基準に とりゼロ線とした。始動時において、広空げき部の磁束は基準線よ りもある角度進んでいる。その程度は k_{sp} によって相違し、 k_{sp} の小 さいほど大きい。くまとり部の磁束は、それに反して基準線より遅 れているので、回転子の周辺に沿って磁界の移動を生じている有様 がわかる。図14は、スパン係数 k_{sp} を一定として、空げき長係数 α を変化させた場合の各部磁束量の速度による変化の有様を示したも のである。広空げき部の磁束は、 α の値が大きくなるにつれて減少 している。くまとり部の磁束は、 α の相違にはほとんど無関係で、 各速度にわたって同じ値を保っている。同じ場合について測定した 磁束の位相角-速度特性を示したのが図15である。この場合、広空 げき部の磁束の位相角は、 α の値に比例して大きくなっている。

6. 結果の検討

6.1 広空げき部の効果

前述の実験結果から、くまとり極電動機に広空げき部を設けると 始動トルクのみでなく、すべり0.6 付近の谷部のトルクが増大し、 加速過程全般にわたって、トルクー速度特性が改善されることがわか る。ただし、電流と入力が増加し、高速時のトルクが若干減少する ことは欠点である。

6.2 磁束の変化

測定して求めた各部の磁束は,一次巻線によって作られた界磁磁 束に,くまとり巻線電流と回転子導体電流によって生じた磁束が加 わってできたものである。広空げき部,狭空げき部,くまとり部の 順に磁束に位相差を生じ,これが移動磁界を生ずる原因となってい る。速度の上昇に伴って,広空げき部磁束とくまとり部磁束の位相 差はしだいに大きくなり,すべり0.1付近では約120度の開きを生 じている。この磁束の位相差が,単相巻線に生じがちな運転時の振 動や騒音を減らすなど性能の改善に役だっている。



6.3 計算値と測定値との比較

実験と平行して、前掲の理論式を用いて計算を行なった。図6は 計算結果の一例を示したものである。計算値は T_m と T_v が測定値 よりやや大きくなっているが、 T_s と $T_{0.1}$ はよく一致している。紙面 の都合で省略したが、電流と入力の値も、計算値と測定値とはほぼ 一致していて、前記の解析の妥当なことを確認することができた。

7. 結 言

リラクタンス増加くまとり極電動機の広空げき部の寸法と特性お よび磁束との関係を実験によって求めた。その結果,次のことが明 らかになった。

(1) くまとり極電動機に広空げき部を設けると始動トルクが増 大するのみでなく、すべり0.6付近の谷部のトルクが増大 し、加速過程全般にわたってトルクー速度特性が改善され る。

(2) 理論式による計算結果は実測値とよく一致している。
終わりに,この研究に多大のご援助をいただいた日立製作所多賀
工場 島田副工場長,上村部長,日立研究所 小林所長,高林部長その他の各位に厚くお礼申上げる。

参考文献



8

 P. H. Trickey: A. I. E. E. 55, 1007 (1936)
S. S. L. Chang: A. I. E. E. 70, 690 (1951)
藤井: 日立評論 34, 1081 (昭27-9)
大岡: 日立評論 42, 1180 (昭36-11)
C. G. Veinott: Theory and design of small induction motor New York McGraw-Hill (1959)
大岡, 大西: 昭45 電気学会東京支部大会 134
大岡: 電学誌 91 (昭46-10)