異極磁界を重畳した回転機の径方向電磁力に関する考察

正 員 深 見 正 (金沢工大)

学生員 宮 本 隆太郎 (金沢工大)

正 員 宮 本 紀 男 (金沢工大)

Considerations on Radial Electromagnetic Force of Rotating Machine Superposing the Different-Pole Magnetic Field

Tadashi Fukami, Member, Ryutaro Miyamoto, Student Member, Toshio Miyamoto, Member (Kanazawa Institute of Technology)

キーワード：回転機，回転磁界の合成，不平衡磁気吸引力

1. ま え が き

同期機と巻線形誘導機のブラシレス化，多機能化のために主回転磁界に異極磁界（空間高調波磁界）を重畳した回転機が種々検討されている^{(1)~(6)}。

元来，回転機の空隙磁界は径方向に対称に設計されるので，回転軸に機械的な不平衡がない限り異常な振動，騒音は発生しない。しかし，異極磁界を重畳した回転機^{(1)~(6)}では，主回転磁界と異極磁界の組み合わせ方次第で，空隙磁束分布が極端に非対称となる場合がある。このとき，回転軸の径方向に異常な電磁力が働き，軸偏心が生じて強烈な機械振動，騒音が発生する^{(1),(3)}。

この問題に対して水野は，主回転磁界と異極磁界との合成磁界分布を図解し，2極磁界に4極磁界を重畳する場合に不平衡磁気吸引力による軸振動の問題が発生することを示している⁽¹⁾。この解決策として，主回転磁界に重畳する異極磁界の磁極数を奇数倍に限定することを結論づけている。その後，水野は主回転磁界が4極，異極磁界が8極のように磁極数の比が偶数倍であっても軸振動が発生しないことを報告している⁽³⁾。最近，猪上らも，これらの検討結果に基づいたブラシレス発電機を試作し，主回転磁界に重畳する異極磁界の磁極数を奇数倍にすることで軸振動が発生しないことを実験的に検証している⁽⁵⁾。また，主回転磁界と異極磁界の組み合わせ方として，両者の極対数の値が，それぞれ偶数，または奇数の場合がよいことを理論的に示している。しかし，文献(1)，(3)，(5)は，いずれも一般的な磁極数の組み合わせ方を明らかにしたものではない。例えば，主回転磁界と異極磁界の組み合わせ方が，2極と8極のように，極対数の値が奇数と偶数の場合でも，次章で詳述するように径方向電磁力は平衡し，回転軸に対して異常な振動，騒音は発生しない。

本報告では，不平衡磁気吸引力によって軸振動が起きない一般的な磁極数の組み合わせ方を明らかにし，極対数が

偶数，奇数と言った議論ではなく，極対数の差が径方向の電磁力波モードを決定し，それが特定の値のときだけ軸振動が発生することを示す。

2. 回転軸が受ける径方向電磁力

空隙における主回転磁界とこれに重畳する異極磁界の空間分布をそれぞれ正弦波であると仮定すると，空隙磁束密度の合成 b は次式で表わされる。

$$b = B_1 \sin(P_1 \theta - \omega_1 t) + B_2 \sin(P_2 \theta - \omega_2 t) \cdots \cdots (1)$$

B_1, B_2 ：主回転磁界および異極回転磁界の磁束

密度の最大値， P_1, P_2 ：極対数， θ ：空間角，

ω_1, ω_2 ：回転角周波数

したがって，単位面積当たりの径方向電磁力 F は次のようになる。

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{b^2}{\mu_0} \cdots \cdots (2)$$

(2)式を用いて，磁極数の組み合わせ方と回転軸が受ける径方向電磁力 F との関係を考察する。

2極機($P_1=1$)の場合を例に採り，重畳する磁極数を4, 6, 8, 10($P_2=2, 3, 4, 5$)とする場合を考える。図1(a)~(d)は重畳する磁極を静止($\omega_2=0$)させ， $\omega_1 t=30^\circ$ の場合を例示している。なお，径方向電磁力 F の大きさは任意値であり，図1では，回転軸が径方向に受ける電磁力の方向の数を電磁力波モード m と定義している。

図1から明らかなように，図(a)の場合，軸が一方方向に電磁力を受け，偏心を生じることがわかる。すなわち，電磁力波モード m が1となる磁極数の組み合わせは絶対に避けるべきである。これに対し，電磁力波モード m が2以上の場合，電磁力が径方向に対して平衡し，軸に偏心が生じることがわかる。また，図1から極対数の差と電磁力波モード m の数は一致している。これ以外の磁極数の組み合わせについても種々検討したが，いずれも極対数の差と電磁力波モード m の数が一致し，極対数の差が

図1 電磁力の径方向分布

Fig. 1. Radial distribution of the electromagnetic force.

表1 磁極数の組み合わせと電磁力波モードの関係

Table 1. Relationship between combination of magnetic pole and electromagnetic force.

極対数の差 $P_2 - P_1$	磁極数の組み合わせ $2P_1$ と $2P_2$	基本電磁力波 モード m
1	2と4 4と6 6と8 ...	$m=1$ 偏心モード
2	2と6 4と8 6と10 ...	$m=2$ 偏心モード
3	2と8 4と10 6と12 ...	$m=3$ 偏心モード
4	2と10 4と12 6と14 ...	$m=4$ 偏心モード

1 (モード $m=1$) となる磁極数の組み合わせでは回転軸に対して一方向に電磁力が発生することが判明した。

以上の結果を総括すると表1のようになる。表1では、極対数の差が4までを示したが、5以上の場合もあり得る。

3. む す び

本報告では、異極磁界を重畳した回転機において、不平衡磁気吸引力によって軸振動が起きない磁極数の組み合わせ方を示し、極対数の差が回転軸に対する電磁力波モードを決定することを明らかにした。その結果、極対数の差が1のときだけ軸振動が発生する。本考察結果は、異極磁界を重畳した回転機において有用な設計指針を与えるもので

ある。

(平成6年4月8日受付)

文 献

- (1) 水野：「新誘導形“相・周波数”変換機」，芝浦工業大学研究報告 No.12, 29 (1964-11)
- (2) I. R. Smith & P. A. Nisar: "Brushless and self-excited 3-phase synchronous machine", *Proc. IEE*, **115**, No. 11, 1655 (1968)
- (3) 水野：「新誘導形“相周波数”変換機その後の経過について」，芝浦工業大学研究報告 No.18, 277 (1974-8)
- (4) 笹本・奥山・高橋：「チョッパを用いた二次電圧制御方式による巻線形誘導機の変速駆動システム」，電学論 D, **108**, 853 (昭63-9)
- (5) 猪上・山下・中前・藤川：「無励磁方式のブラシレス自励三相同期発電機」，電学論 D, **112**, 569 (平4-6)
- (6) 深見・川井・宮本・柴田：「電機子反作用磁界に第2高調波を重畳したブラシレス自励形三相同期発電機」，平6電気学会全国大会，No. 815

深見 正 (正員) 昭和37年12月19日生。平成2年3月金沢工業大学大学院博士課程修了。同年4月三菱電機(株)入社。中央研究所に勤務。平成4年4月金沢工業大学助手，平成5年4月同大学講師，現在に至る。工学博士。主として、回転機の研究に従事。昭和59年オーム奨学賞，平成4年日本船舶機関学会奨励賞受賞。IEEE，日本船舶機関学会会員。

宮本 隆太郎 (学生員) 昭和45年5月28日生。平成5年3月金沢工業大学電気工学科卒業。同年4月同大学大学院修士課程入学，現在に至る。主として、回転機に関する研究に従事。

宮本 紀男 (正員) 昭和12年2月11日生。34年3月金沢大学工学部電気工学科卒業。同年4月三菱電機(株)入社。中央研究所にてSF₆ガス絶縁変電機，永久ヒューズなどの開発に従事。電気学会進歩賞，科学技術庁長官賞，IEEE論文賞受賞。51年京都大学工学博士。55年伊丹製作所開発部長，60年同所光ディスク開発プロジェクト部長，62年産業システム研究所光ディスク開発センター長，平成2年金沢工業大学教授。着任後，植物が示す神秘的な電磁気現象の研究に着手。現在に至る。