# 法政大学学術機関リポジトリ HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-14

# マルチコイルモータによる回転軸振動の低減 方法

小林, 智和 / KOBAYASHI, Tomokazu

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要.理工学・工学研究科編
(巻 / Volume)
60
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
5
(発行年 / Year)
2019-03-31
(URL)
https://doi.org/10.15002/00022016

# マルチコイルモータによる回転軸振動の低減方法

#### AXIAL VIBRATION REDUCING METHOD USING MULTI-COIL MOTOR

小林智和

Tomokazu KOBAYASHI 指導教員 安田彰

#### 法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Axial vibration occurs when an unbalanced motor rotates and the centrifugal force acts on it. That is the main cause of the noise and the performance degradation. A multi-coil motor system has been proposed as a motor realizing high precision driving. This paper proposes axial vibration reducing method controlling not only rotary torque but also magnetic attractive force against the axis of rotation by using multi-coil motor. Using MATLAB/Simulink simulation, the axial vibration reduction is shown.

Key Words : multi coil motor, axial vibration

### 1. はじめに

近年,モータは様々な用途で利用され,家庭の電化製品 から工場で使用される加工機などに用いられている.モ ータには高精度な回転が求められ,低振動,低騒音が望ま れている.

振動や騒音は回転軸振動が主な要因となっている.回 転軸振動はモータの製造誤差や経年劣化により生じるア ンバランス(軸の中心と重心がずれた状態)のまま回転し, 遠心力が働くことにより軸受が振動することで発生する. この回転軸振動を改善するために従来よりバランシング マシンが用いられている.バランシングマシンによりロ ータのアンバランスの位置を検出し,アンバランスを修 正する位置に重りを取り付けることでこの問題を解決し ている.しかし,この方法では一度製品を分解し,重りを 取り付けなくてはならない.

デジタル直接駆動技術を適応させたマルチコイルモー タ[1]を使用することでトルクや合成磁界を精密に制御で きるため,回転軸の振動を検出し,振動を打ち消すように コイルの駆動法を変化させることで回転軸振動を低減す ることができると考えられる.

本論文ではデジタル直接駆動技術を適応させたマルチ コイルモータシステムを使用することで回転軸振動の低 減法を提案する.そして MATLAB/Simulink のシミュレ ーションにより回転軸振動の低減性を示す.

# 2. 従来手法

#### (1) マルチコイルモータ

高精度な回転を実現するモータの実現のためマルチコ イルモータが提案されている.マルチコイルモータはブ ラシレス DC モータのステータコイルを複数に分割し, 各コイルを独立して駆動させるためフルブリッジ回路に 接続されている.本論文では3コイルを一つの鉄心に重 ねて巻いた集中巻きの構造(図1)で考えるものとする.

図 2 にマルチコイルモータシステムの構成図を示す. マルチコイルモータシステムの入力はマルチレベルの PDM を生成するΔΣ変調器と,素子バラつきの影響を低 減する信号処理法の NSDEM[2]により構成されている.



図1 マルチコイルモータ



図2 マルチコイルモータシステム

# (2) 回転軸振動

#### (a) 回転軸振動の発生原因

回転軸振動はモータがアンバランスのまま回転し,遠 心力が働くことにより軸受が振動してしまうことが主な 発生原因である. (図 3)

ロータに働く遠心力を(1)式に示す.

$$F = m\varepsilon\omega^2 \tag{1}$$

- F:遠心力
- *m*:質量
- *ε*:偏心距離
- ω:回転速度



# (b) 回転軸振動の対象法

回転軸振動の対処法としてバランシングマシンによる 修正が挙げられる.図3のように振動センサを取り付け, 重りを取り付けることで振動が小さくなる位置を探し出 すことでアンバランスの修正を行っている.



#### (3) ハニカム構造型ベクトル量子化器

図5にハニカム構造型ベクトル量子化器を示す.

3 相 3 コイル 3 値駆動のマルチコイルモータにおいて 2 次元平面座標系 α, β 軸上に表現できる合成磁界の組み 合わせは 127 通り存在する.

ハニカム構造型ベクトル量子化器は 127 通りの合成磁 界のベクトルが指し示す終点を中心にボロノイ分割して できた正六角形の領域を量子化間隔としている.[3]



#### 3. 提案手法

(1) マルチコイルモータによる回転軸振動の低減方法

図 6 に提案モータを示す. 従来のマルチコイルモータ は図 1 のように 3 コイルで駆動させていたが対称の位置 にさらに 3 コイル用意し, 6 コイルの駆動させる.



図 7 に磁界とコイルの吸引力の関係を示す. 従来のマ ルチコイルモータでは回転軸に対して働く力を制御する ことはできなかった.しかし,提案するマルチコイルモー タを用いることで同様の合成磁界を作りながらも一方向 に力を加えたり,力を打ち消したりするように使用する ことができる.



(2) コイルの吸引力

コイルに電流を流した時に回転軸に働く吸引力を(2)式 に示す.

$$F = \frac{\mu_0 S}{2} \left(\frac{NI}{l}\right)^2 \tag{2}$$

F:コイルの吸引力[N]
µ<sub>0</sub>:真空の透磁率[H/m]
S:吸引面の面積[m<sup>2</sup>]
N:コイルの巻き数[回]
I:電流[A]
l:ギャップ距離[m]

ハニカム構造型ベクトル量子化器の座標を利用するこ とで回転する偏心位置を特定し、コイルの吸引力を発生 させる方向を決定する.所望の合成磁界を作り出す回転 軸振動を低減させるのに最適なコイルを選ぶ. (図 8)



図8 回転時の偏心位置に対する吸引力発生方向

#### (3) 回転軸振動低減モデルの回路方程式

自己インダクタンスと相互インダクタンスを考慮した 回転軸低減マルチコイルモータの回路方程式は(3)式にな る. [4] [5]

$$V_{u1} = R_{u1}i_{u1} + L_{u1}\frac{di_{u1}}{dt} + M_{u12}\frac{di_{u2}}{dt} + M_{u13}\frac{di_{u3}}{dt} + M_{u14}\frac{di_{u4}}{dt} + M_{u15}\frac{di_{u5}}{dt} + M_{u16}\frac{di_{u6}}{dt} - \omega\varphi_f\sin\theta$$
(3)

V<sub>u1</sub>: コイル U1 にかかる電圧
 R<sub>u1</sub>: コイル U1 の巻き線抵抗
 L<sub>u1</sub>: コイル U1 の自己インダクタンス
 M<sub>u12</sub>, M<sub>u13</sub>, M<sub>u14</sub>, M<sub>u15</sub>, M<sub>u16</sub>: U1 と U2, U3, U4,
 U5, U6 との相互インダクタンス
 ω: 電気角速度
 φ<sub>f</sub>: 永久磁石の鎖交磁束

同様に U2, U3, U4, U5, U6 の回路方程式を求め, 行列式で表す.



	$\omega \varphi_f \sin \theta$		
_	$\omega \varphi_f \sin \theta$		
	$\omega \varphi_f \sin \theta$	( )	
	$\omega \varphi_f \sin(\theta - \pi)$	(4	)
	$\omega \varphi_f \sin(\theta - \pi)$		
	$\omega \varphi_f \sin(\theta - \pi)$		

#### (4) MATLAB/Simulink によるモデル

(4)式をもとに状態方程式を導出する.状態方程式を(5) 式に示す.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \tag{5}$$



x(t): 状態ベクト/u(t): 入力

# 4. シミュレーション

MATLAB/Simulink を用いて表の条件でシミュレーションを行った.シミュレーションの条件を表1に示す.

driver voltage	6[V]		
speed command	500[rpm]		
air gap	0.005[m]		
cross-sectional area	0.0000785[m <sup>2</sup> ]		
turns	15[回]		
initial unblance position(vector number)	6		

表1 シミュレーション条件

図 9 に U 相の駆動電圧を示す.従来のマルチコイルモ ータでは U 相の U1, U2, U3 に駆動信号が入力されて いたが提案したモータではさらに U4, U5, U6 が追加さ れている.図 10 にアンバランスの位置と U1, U2, U3 のコイルを Us, U4, U5, U6 のコイルを Ut とした時の 駆動電圧の合成値を示す.Us と Ut を足し合わせると図 9 の駆動電圧となる.

アンバランスの位置は回転速度に合わせて回る.図10 から回転時のアンバランスの位置に応じてUsとUtが切り替わり駆動していることが分かる.



図 10 Us と Ut の駆動電圧

従来のモータと提案の回転軸振動低減モータの振動の 値を2軸平面座標α,β軸において比較を行った.(図 11) 青色の線が従来のモータによる回転軸振動,赤色の線 が回転軸振動低減モータの回転軸振動の軌跡である.

提案モータの方が青い線の内側に生成されているため 回転軸振動の影響が減少していることが確認できる.



# 5. まとめ

本論文ではマルチコイルモータを用いることで回転軸 振動の低減法を提案した.

従来のモータでは回転軸に対してコイルによる吸引力 を制御することができなかった.そこで3コイルだった マルチコイルを回転軸に対して対称の位置に3コイル追 加することで同様の合成磁界を得ながらもコイルの吸引 力の方向を変えることを可能にした.

回転軸振動低減モータのモデルを作成し、シミュレー ションから回転軸振動低減モータと従来モータにおける 回転軸振動の比較を行い、提案モータを用いることで回 転軸振動が減少していることを確認した.

この結果から本提案手法を適応することで回転軸振動 を低減することが可能であると考えられる.

#### 謝辞

本研究を行うにあたり,ご指導頂いた安田彰教授, 様々な研究のアドバイスをしてくださった西勝聡様,同 研究室の皆様に心より御礼申し上げます.

# 参考文献

[1]塩澤純,秋山和博,倉持大悟,原島昇,吉野理貴,安 田彰:マルチビットデジタル直接駆動技術を用いた三相 モータシステム", IEICE General Conference, 2013

[2]Yasuda, A. Tanimoto, H. Iida, T. A Third-order Modulator using second-order nose-shaping dynamic element matching, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 33, pp. 1879-1886, 1998

[3]松尾遥:量子化雑音と製造誤差による素子バラツキの 影響を低減させた高精度マルチコイルモータ,法政大学 大学院理工学・工学研究科紀要,vol. 58, 2017

[4]松尾遥,安田彰,西勝聡,本山佳樹, 曽我美 泰隆: マルチコイルモータのモデルに関する一提案, 電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, 2015

[5]新中新二: 永久磁石同期モータのベクトル制御技術, 電波新聞社, 2008, p.32