

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05955

研究課題名（和文）次世代超低振動ステッピングモータ駆動システムの開発

研究課題名（英文）Development of next generation ultra low vibration stepping motor drive system

研究代表者

百目鬼 英雄（Dohmeki, Hideo）

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40386355

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ステッピングモータが不安定になる問題は、古くから共振現象として知られ、このような問題にたいして、ドライブ装置から不安定現象の解明と、特に問題となる機械システムとの組み合わせで発生する不安定性の解明を行った。
2相ハイブリッド形で、駆動電流・電圧の瞬時値とオープンループで駆動される指令パルスによる実際の回転角に対する位相角を一体にして状態を観測する機能を持たせたドライバを開発した。エンコーダによる位置検出とドライバの出力から中速域での駆動状態が詳細に検討出来るようになった。並行して、駆動状態を機電連携したシミュレーションプログラムを開発することで、理論上の振動発生要因を確認する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：The problem that the stepping motor becomes unstable has been known as a resonance phenomenon for a long time. In response to such a problem, elucidation of instability caused by a combination of elucidation of an unstable phenomenon from a drive unit and a particularly problematic mechanical system was carried out.
In the 2-phase hybrid type, we developed a driver that has the function of observing the state by integrating the instantaneous value of the drive current and voltage and the phase angle to the actual rotation angle by the command pulse driven by the open loop. From the position detection by the encoder and the output of the driver, the drive state in the middle speed range can be examined in detail. In parallel, we developed a method to confirm the theoretical cause of vibration generation by developing a simulation program that combines the driving state with electromechanical. It was.

研究分野：電気機器工学

キーワード：ステッピングモータ ドライブシステム 共振・振動 ボールねじ

1. 研究開始当初の背景

ステップモータは、デジタル信号で制御できることからコンピュータの周辺機器用アクチュエータとして古くから使用されてきた。近年のパワーエレクトロニクス技術の進歩から正弦波駆動(マイクロステップ駆動)、定電流制御による速度制御範囲の大幅な拡大が行われ、サーボ性能が向上したことから、自動化機器や簡易ロボットなど生産設備用モータとして大量に使用されている。しかしオープンループ駆動での駆動では、特定の回転数領域で振動が発生し最悪の場合脱調するといったことが原因で駆動範囲がいちじるしく限定されるという問題がある。近年では、位置をフィードバックすることで閉ループを構成し AC サーボモータと同様の駆動法も行われ、さらにセンサレスでドライブする方法も筆者がすでに提案しているが、ステップモータの使いやすさが失われてしまうため、一般サーボ同等の性能が要求される場合のみしか使用されていない。また、閉ループ駆動で高速域の駆動を行うためには、弱め界磁制御が不可欠であるにもかかわらず理論的な裏づけがなされていないため、明確な制御方法が明らかにされていない。実用化が進んでいる割には、理論的な裏づけがされておらず、特に中速域の不安定性については、定性的な議論しか行われていなかった。

2. 研究の目的

ステップモータは、位置決め用機器として自動化機などに使用されているが、数 100rpm 回転速度領域での共振振動が古くから問題となっている。特に近年、接着材等の塗布装置にボールネジなどの組み合わせでこの問題が顕著となり、ダンピングを持たせたカップリングの開発など機械要素個別の開発が行われているが十分な解決に至っていない。ステップモータのドライブで中速域共振に対して原因がまだ解析的に明らかにされていないことに原因がある。中速域での共振の発生メカニズムを明らかにするとともに、過渡的な振動トルク抑制手法を開発することで、可変速駆動ボールネジを主体とする直駆動システムの全速度領域で滑らかな駆動を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

PM モータの練成モデルから発展させて 3次元磁気回路を考慮したステップモータと駆動回路を連携した解析手法を構築する。また、駆動のダイナミクスを測定する計測装置を開発し、精密な動特性を測定し解析結果との差異から実用的な駆動モデルを導出す。駆動は 1chip マイコンで構成し主回路は 2 相フルブリッジ構成とし、相電流とリンク電流の検出が行える回路方式による駆動系を構成する。マイコン内の状態変数がすべてリアルタイムで計測可能であることから、インバータの電圧・電流をデジタル量で計測可能となる。この制御系構成に際しては、

すでに提案しているセンサレス制御系を流用し同時にモータパラメータを使用したオブザーバにより、実際の動作状態における負荷角の測定も行う。FPGA によりオブザーバの負荷角推定を含む駆動系を構成し、中速域で共振の発生過程を測定することでそのメカニズムを実験的に解明する。測定と同一条件での連携解析を実行することで鉄損の制動力に関する影響を明らかにする。解析結果とオブザーバによる負荷角推定結果をもとに振動低減の制御法の構築を行い無負荷での確認を行う。実負荷を模擬したボールネジ駆動系により、振動発生要因を機械系と電気系に分けて測定し、電気系での制震性能とカップリングでの効果的製動力を持たせた駆動システムを開発する。このブロックでは、閉ループも構成できるが、実験ではオープンループ状態のみを使い、実際の位置決め位置と遅れ角より負荷角を検出することによりモータ状態を把握する。負荷に対する特性も測定出来るようになっている。

4. 研究成果

ドライバとして図 1 に示すような 1chip マイコンで状態を推定するとともに、電流電圧を測定するドライバを策定して、振動の発生原因を推定する実験装置を作成した。

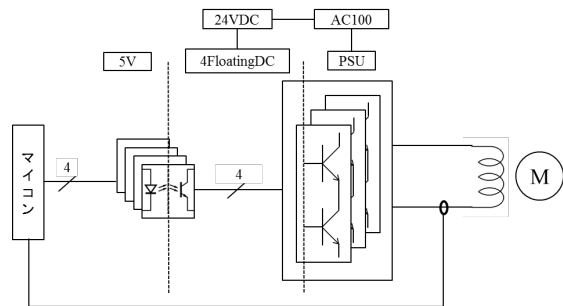


図 1 ドライブ回路の基本構成

中速域の振動現象を確認するため、駆動周波数ごとの速度振動特性特性を測定し振動の周波数特性を測定した結果が図 2 である。300PPS から 600PPS まで 50pps 刻みで測定した。

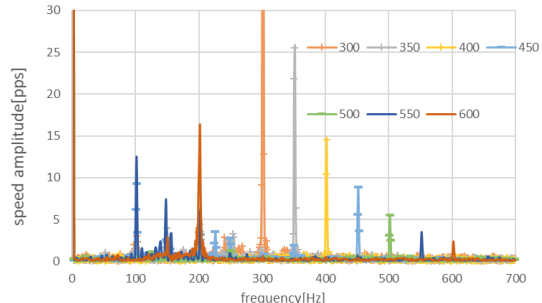


図 2 低速及び中速での速度振動特性結果
この結果から、振動特性がある駆動周波数になると特に大きくなる周波数が観測され、その周期は駆動周波数とは無関係に変動しており、通常の振動とは違う中速域での共振が確認された。

この現象を子細に測定した結果、モータの

誘導起電力が速度の変動によって、印加電圧を超えることによって発生する現象が確認され、それが徐々に拡大していることで発生することがわかった。

ステッピングモータの振動発生原因のもう一つにコアの固有振動数との関係を把握しておく必要がある。そこで有限要素法により加振力を与えた場合の変形を解析することで、共振周波数を推定した。そのコンター図を図3に示す。

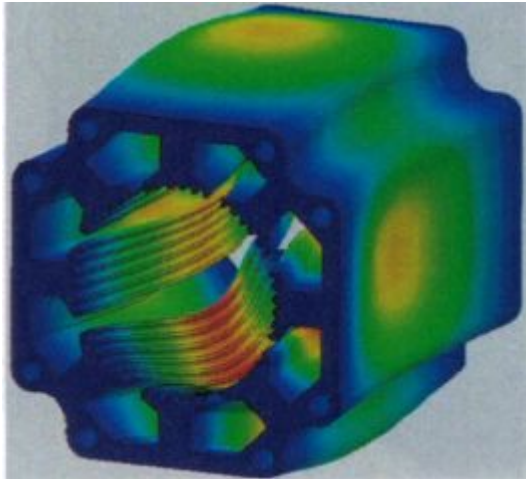


図3 モータステータの変形の一部
解析結果から、モーター回転につき2回の振動が発生することが確認でき、その固有振動数は4kHzと8kHzの二つのモードを持つことが加振による実験からも確認できた。しかし、この振動モードは高速回転で発生するもので、宙域の共振とは関係しないことが確認できた。

中速域の共振は、電源電圧と誘導起電力の振動が共振することで、徐々に不安定化するとを明らかにした。

機械系の動特性の測定を目的として、ボールねじ駆動システムを構成した。図4に試作した装置の全景を示す。

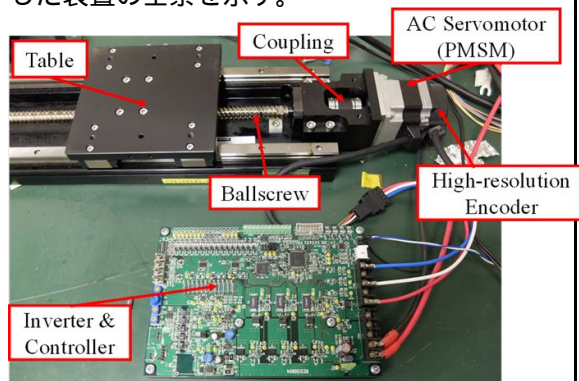


図4 ボールねじ駆動システムの外観

ここでは、ボールねじの周波数特性を測定するため、サーボモータを使用しているが、ステッピングモータと互換性を持った装置としている。

周波数特性を測定した結果を図4に示し、80Hzで反共振、135Hzで共振周波数を持つことが確認できた。したがってこの周波数域で

の駆動がモータのダイナミクスに影響を与えることが確認できた。

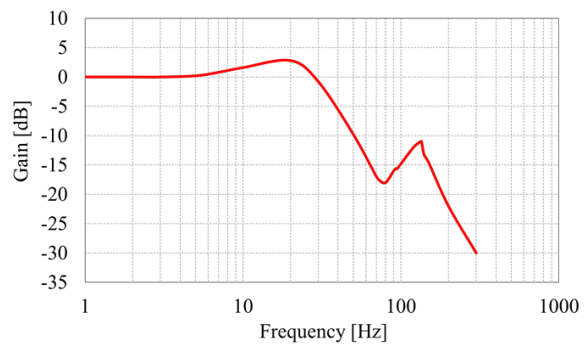


図5 ボールねじ駆動システム

次に精密位置決めに必要な、静止摩擦トルクの特性を測定したところ以下のような結果が得られた。

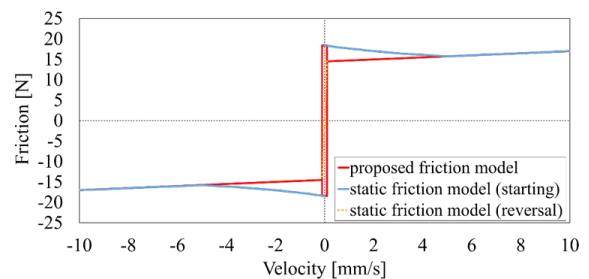


図6 ボールねじの摩擦モデルの同定結果

このモデルを用いて、ステッピングモータの位置決め駆動を行うため、負荷トルクを考慮した速度プロファイルを計算してなめらかな位置決めを行った結果、良好な結果が得られた。

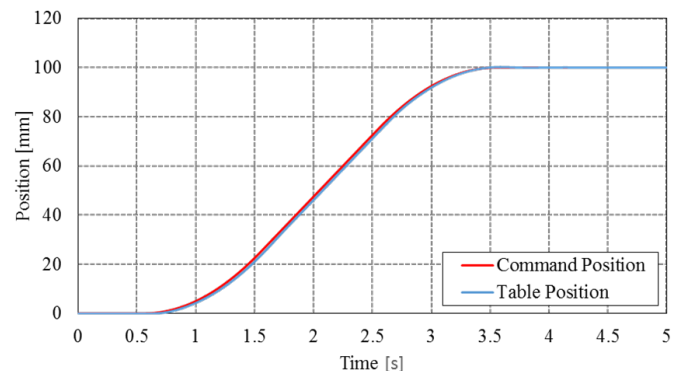


図7 位置決め制御実験の結果
機械系の特性を考慮した、ステッピングモータの速度プロファイルを作成することで、振動のない駆動特性が得られることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 穴戸裕司、百目鬼英雄、自動平衡装置 日本機械学会論文集 Vol.83 pp16-193
2017 査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 上村 隼斗, 百目鬼 英雄, 鈴木 憲吏; ボールねじ駆動システムにおける非線形摩擦補償の検討, 日本 AEM 学会, 第 26 回 MAGDA コンファレンス, P-A15, 2017 年 10 月

2. S. Noguchi and H. Dohmeki, "Estimation of disturbance torque for ballscrew drive system with using high resolution encoder", The 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2017), ID:296, 2017

3. R. Takahashi, K. Suzuki, and H. Dohmeki, "A study on efficiency of firing angle change of switched reluctance motor", The 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2017), ID:773, 2017

4. 村上 渉, 百目鬼英雄, 鈴木 憲吏, 野口俊介、埋込磁石型ロータ構造のトルクリプル低減についての検討、日本 AEM 学会、第 29 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム 2017 年

5. 河村 篤, 鈴木 憲吏, 百目鬼英雄、ステッピングモータの中速域の安定性に関する検討、日本 AEM 学会、第 25 回電磁現象および電磁力に関するコンファレンス(第 25 回 MAGDA コンファレンス)、PS-20, 2016 年 11 月, p165-p168

6. 研究組織

(1) 研究代表者

百目鬼 英雄 (DOHMEKI HIDEO)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40386355