

センサレス永久磁石モータの起動時騒音の低減法

河合 一弥* 熊谷 崇宏 渡辺 大貴 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Reduction method of start-up acoustic noise for permanent magnet synchronous motor(PMSM)

Kazuya Kawai*, Takahiro Kumagai, Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh, (Nagaoka University of Technology)

This paper discusses a control method for reducing start-up acoustic noise of permanent magnet synchronous motor(PMSM). Quietness of motor drive is required in home appliances such as air conditioners and refrigerators. In this paper, the cause of the start-up acoustic noise is analyzed from the experimental results. In addition, the V/f control method is one of the sensorless drive method for reducing the start-up acoustic noise. As a result, the effect of reducing the acoustic noise on the verification experiments at start-up are shown.

キーワード：同期電動機，騒音，起動方法，実機検証

(Permanent Magnet Synchronous Motor, Acoustic noise, Start-up method, Verification experiments)

1. はじめに

近年、永久磁石同期電動機(PMSM)は小型、高効率といった特徴を有する事から、エアコンや冷蔵庫などの家電製品に幅広く用いられている⁽¹⁾⁽²⁾。これらの製品は、生活環境の中に組み込まれているため、静音性能が重視される。加えて、コストの観点から制御用マイコンの処理能力が制限されるため、複雑な演算ができない。これまで、定常運転時に発生する騒音の低減に関しては多く研究されているが^{(3)~(6)}、起動時に発生する騒音に注目した研究は少ないと思われる。

本論文では、ファンに組み込まれている PMSM をホールセンサ付き 120 度通電制御で起動した際に発生する音圧を実測し、騒音の発生原因を分析する。加えて、PMSM の位置センサを用いない制御法の 1 つである V/f 制御をベースとした簡単な起動時騒音低減法を提案し、実機により騒音低減効果を確認する。通常の位置センサレス制御を用いた起動法は、停止→位置決め(直流通電)→同期駆動(オープンループ)→センサレス制御であるのに対して、提案する起動法は停止→位置決め(直流通電)→V/f 制御であるため、起動シーケンスもシンプルである。

2. ホールセンサ付き 120 度通電制御での起動と起動時騒音の分析

図 1 にホールセンサ付き 120 度通電制御における起動方法を示す。一般に、エアコンや冷蔵庫などの家電製品では、位置センサを付ける場合でもコストの観点からホールセンサを用いることが多い。ホールセンサは電気角 60 度ごとの回転子の位置情報しか出力できない。そのため、速度情報

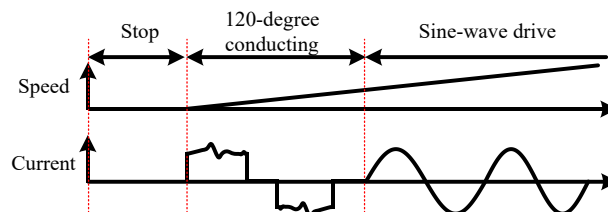


Fig. 1. Startup sequence of PMSM by using 120 degree conduction control with hall sensor.

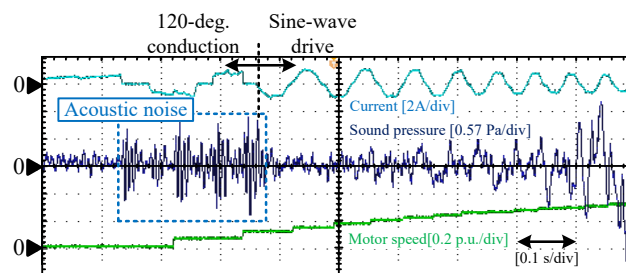


Fig. 2. Phase current, sound pressure, and motor speed at startup of 120 degree conduction control with hall sensor.

を用いて信号間を補間することで、位相角を連続化する。制御器内の位相情報を用いることで、正弦波駆動することが可能である。しかし、停止時には速度情報が分からないため、起動時は速度情報が取得できるまで 120 度通電制御を行った後正弦波駆動に切り替える。

図 2 に実際にホールセンサ付き 120 度通電制御で起動した際の電流、音圧波形、回転速度の波形を示す。なお、音圧測定はマイクロホン(小野測器, MI-1433)とプリアンプ(小野測器, MI-3111)を用いている。図 2 から分かるように、起動時において 120 度通電制御の通電モードを切り替えるご

とに、大きな音圧リプルが発生している。これは、切換えショックに伴うトルク脈動が、PMSM の出力軸とファンとの接合部で機械振動を引き起こしているためであると考えられる⁽⁶⁾。一方、制御器内で補間した位置情報を用いて正弦波駆動している後半の区間は、音圧レベルが低いことがわかる。したがって、起動時の騒音の低減には、起動時から正弦波駆動することが有効であると考えられる。

3. 位置センサなし V/f 制御での起動法と起動時騒音の評価

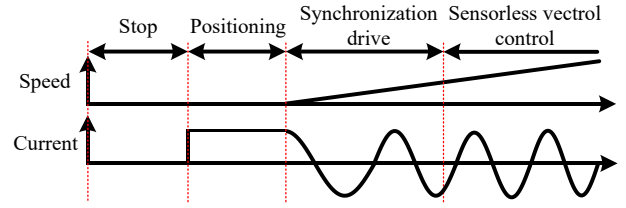
図 3 に通常的位置センサレス制御を用いた起動法と提案する V/f 制御をベースとした簡単な起動法の起動シーケンスを示す。2 章で説明したように、起動時の騒音の低減には、起動時から正弦波駆動することが有効であると考えられる。通常的位置センサレス制御を用いた起動法では、停止状態において直流通電をすることで位置決めを行い、その後、オープンループで同期駆動することで誘起電圧を測定できる速度まで加速し、センサレス制御に切り替える。しかし、起動負荷が不明な場合、これらの起動プロセスが正確に行うことができなければ、制御切換え時に電流急変動やモータ軸振動が発生する問題がある。一方、提案する起動法は、位置決め後に V/f 制御を行うだけなので、制御切換え回数が少なく、制御切換え時の振動発生リスクが低い。

図 4 に PMSM の位置センサを用いない V/f 制御⁽⁷⁾の制御ブロックおよび回転数と電圧指令値の関係を示す。この手法では、電流の有効成分である δ 軸電流 i_δ を出力電気角周波数の計算時にフィードバックすることで、近似的に負荷角のフィードバックを実現し、ハイパスフィルタ(HPF)と安定化ゲイン K により安定化している。V/f 制御による起動時は、巻線抵抗 R による電圧降下を補償するために、電圧降下分だけブースト電圧 V_{bst} を設定する。しかし、起動負荷が不明な場合、巻線抵抗による電圧降下分のみの補償では脱調の恐れがある。そのため、通常の V_{bst} を K_{bst} 倍($K_{bst} > 1$)したものをブースト電圧 V_{bst}' として与える。そうすることで、多くの電流が流れ、強い電磁力で回転子を引き付けるので、安定して起動することができる。加えて、通常のセンサレス制御の同期駆動(オープンループ)→センサレス制御のプロセスを V/f 制御で置き換えられるので、非常にシンプルなシーケンスで起動できる。

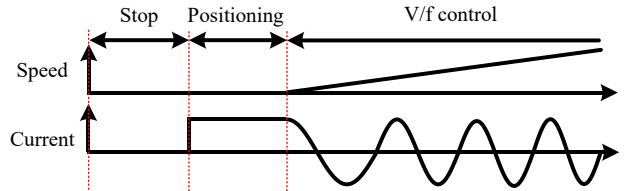
図 5 に実際に提案法で起動した際の電流、音圧波形、回転速度の波形を示す。なお、 K_{bst} は試行錯誤的に 1.7 に設定した。図 5 より、連続的な正弦波電流が流れており、正常に起動できている。加えて、120 度導通制御で起動した際の音圧波形(図 2)と比較して、音圧波形にリプルがなく、起動時の騒音を低減できていることがわかる。今後、 K_{bst} の決定法の検討と提案制御法の安定解析を行う予定である。

文 献

- (1) T. Zanma, et al, IEEJ Journal of IA, Vol. 3, No. 3 (2014)
- (2) R. Tanabe, et al, IEEJ Journal of IA, Vol. 5, No. 2 (2016)
- (3) 野口 俊介, 他 日本 AEM 学会誌, Vol. 24, No. 3(2016)
- (4) Min Zhu, et al, IEEE Trans. IA, Vol. 4, No. 1 (2018)

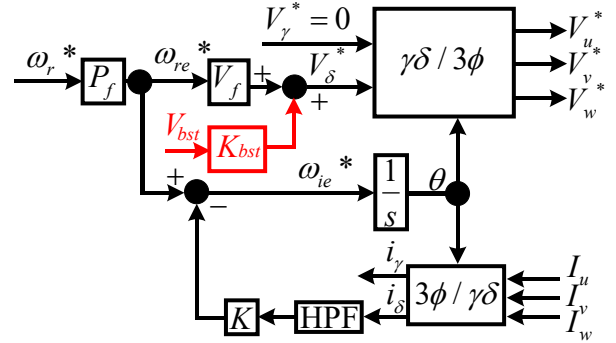


(a) With sensorless vector control (conventional)

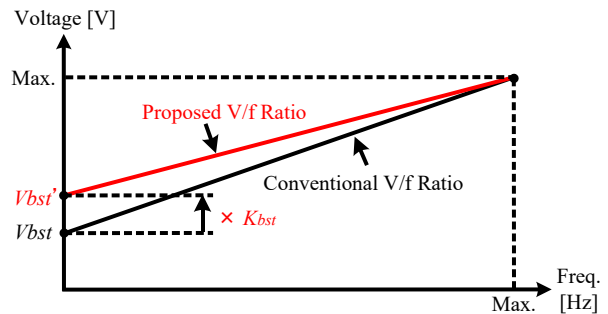


(b) With V/f control (proposal)

Fig. 3. Startup sequence of PMSM with position sensorless control.



(a) Control block of V/f control.



(b) Relationship between rotation speed and voltage amplitude.
Fig. 4. The detail of proposed method.

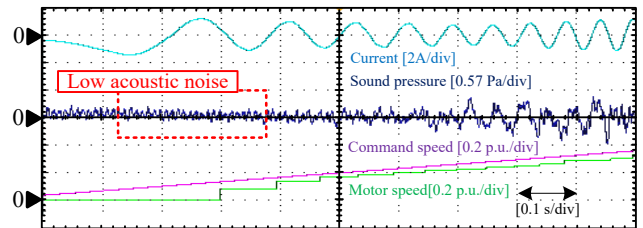


Fig. 5. Phase current, sound pressure, and motor speed at startup of proposed control method.

- (5) Mi Tang, et al, IEEE Trans. IA, IEEE, Vol. 56, No. 4(2020)
- (6) 李 東昇, 他 IEEJ Journal of IA, Vol 130, No. 9 (2010)
- (7) 伊東淳一, 他 IEEJ Journal of IA Vol. 122-D, No. 3 (2014)