

コンプレッサ駆動用モータのセンサレス 120°通電制御における振動要因分析

©近江 雄介, 安田 匠, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

永久磁石同期モータは小型・高効率といった特徴を有するため、エアコンや冷蔵庫などの家電製品に幅広く使用されている。また、コスト低減のため、複雑な演算や位置センサ、モータパラメータを用いない 120° 通電制御が多く用いられる⁽¹⁾。これらの家電製品に用いられるコンプレッサは低振動および低騒音であることが求められる。

そこで本研究では、120° 通電制御を適用したコンプレッサ駆動用モータに発生する振動の発生要因を実験的に分析する。その結果、負荷トルクの低次高調波成分が振動に大きく影響することを明らかにしたため報告する。

2. 120° 通電制御

図 1 に 120° 通電制御の概念図を示す。120° 通電制御は誘起電圧のゼロクロス点を検出することにより、電気角 60° 毎に回転子位置を推定し、それぞれの区間に対応した相に電圧を出力する。また、各相の励磁期間の後半に PWM 駆動することによって、出力電圧を調整し、速度制御を行う。

3. コンプレッサの負荷トルク

図 2 にコンプレッサに用いられるピストン-クランク機構を示す。図 2 では、ピストンの運動方向を x 軸方向、運動方向に対して垂直方向を y 軸方向としている。コンプレッサはロータの回転に応じて、ガスの吸引、圧縮、排出工程を機械角周波数に等しい周期で繰り返すことで温度管理を行う。図 2 において、クランクシャフトに加わる負荷トルク T_L は、クランクピンの回転接線方向の力 F_T より(1)式で求められる⁽²⁾。

$$T_L = rF_T \sin \theta = r(F_g + F_i) \left\{ 1 - \frac{\rho \cos \theta}{\sqrt{1 - \rho^2 \sin^2 \theta}} \right\} \sin \theta \dots\dots(1)$$

ただし r はクランク半径、 ρ はクランク半径とコンロッド長 l の比、 θ はクランク角、 F_i はピストンに作用する慣性力、 F_g はガスがピストンに作用する力である。 F_i および F_g はそれぞれ機械角周波数を基本周波数として振動する⁽²⁾。

4. 実験結果

本実験では、120° 通電制御によって 15 rps (0.19p.u.) および 35 rps (0.44p.u.) の速度指令値でモータを駆動させた際のモータ振動を測定する。なお、モータの振動はコンプレッサに取り付けた加速度センサ (小野測器, NP-3120) とプリアンプ (小野測器, M-3111) により測定する。また、加速度センサは図 2 におけるシェルの x 軸方向に取り付けている。

図 3 にコンプレッサの振動および(1)式より算出した負荷トルクの高調波解析結果を示す。ただし、それぞれの結果は機械角周波数成分で正規化している。解析結果より、機械角周波数の整数倍の周波数に振動および負荷トルクが発生しており、高次数になるほど振幅が減少している。また、周波数の増加に伴い、振動の振幅は負荷トルクと比較して急激に減少している。これはコンプレッサの機械的な周波数特性に起因すると考えられ、トルクの低周波成分がより振動に影響することが推測できる。機械角周波数に比較して、スイッチング周波数である 16 kHz 付近の高周波域では、振動は比較的小さい。また、電気角 60° 毎の通電相の切替に起因した 18 次成分の振動は小さい。これらの結果より、120° 通電時のコンプレッサでは、負荷トルクの低次成分が振動の主要因であると考えられる。

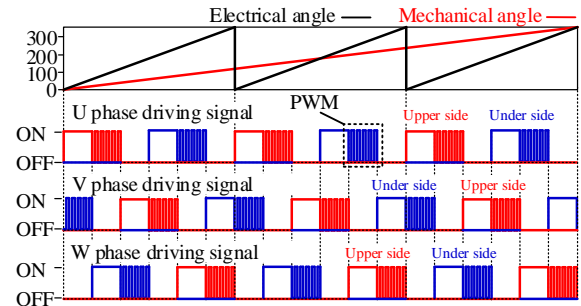


Fig.1. Conceptual diagram of 120-degree conduction drive.

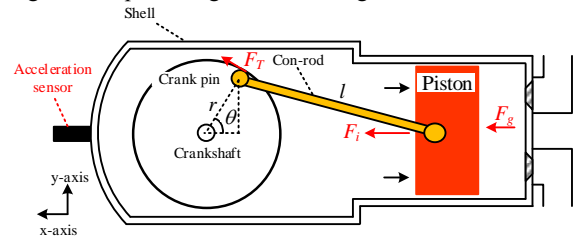
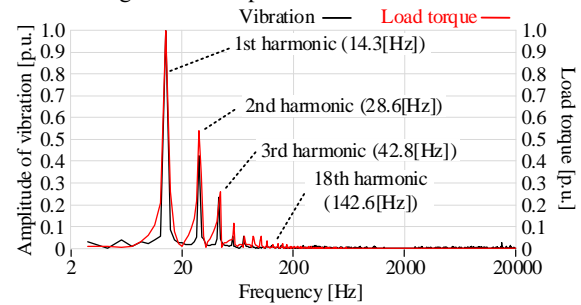
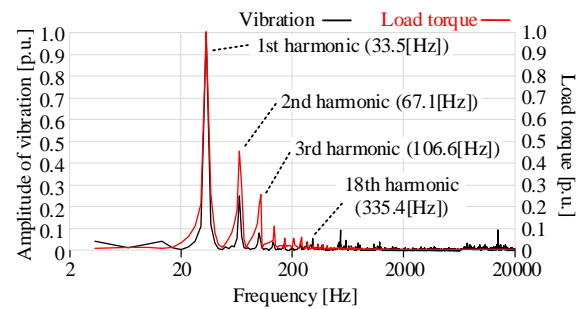


Fig.2. Force of piston-crank mechanism.



(a) Speed command value : 0.19 p.u.(15 rps)
(Vibration : 1p.u. = 0.30[m/s²], Load torque : 1p.u. = 0.39[Nm])



(b) Speed command value : 0.44 p.u.(35 rps)
(Vibration : 1p.u. = 0.094[m/s²], Load torque : 1p.u. = 0.41[Nm])

Fig.3. Harmonic analysis of vibration and load torque.

5. まとめ

本論文では、120° 通電制御時のコンプレッサ駆動モータの振動要因を分析した。実験結果より、負荷トルクの低次高調波成分が振動に大きく影響することを明らかにした。今後は 120° 通電制御において、負荷トルク変動による振動を抑制する制御法を検討していく予定である。

参考文献

1. 内藤, 熊谷, 伊東:電気学会東京支部新潟支所研究発表会, NGT-18-411 (2018)
2. 塩井, 熊谷, 日下, 伊東:2021年電気学会産業応用部門大会, No. 4-4, pp. IV-95 (2021)