

ワンシャント電流検出方式を適用可能なレシプロ型圧縮機の停止時の振動低減法

塩井 太介*, 熊谷 崇宏, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Low-vibration Stopping Method for Compressor using DC Side Current Detection
Taisuke Shioi*, Takahiro Kumagai, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

エアコンや冷蔵庫などの家電製品では、生活環境に影響を与えないように、静音・低振動であることが求められる。これらの家電製品に適用される圧縮機では、周期的な負荷トルクの変動により振動が発生する⁽¹⁾。また、圧縮機は内部のモータが頻繁に起動・停止を繰り返すため、運転時だけでなく起動や停止時に発生する振動の低減が必要となる。

著者らはこれまで、短絡制動を用いて圧縮機の停止時振動を低減する低振動停止法を提案している⁽²⁾。しかし、提案法では停止時の電流振幅を制御するために、インバータの出力側に電流センサが2つ必要となりコストが増加する。

本論文では、直流側ワンシャント電流検出方式に対応した停止時の振動低減法を提案する。提案法により、従来使用されるフリーラン停止法と比較して、振動振幅を最大で71.9%低減できることを実機実験により確認した。

2. 短絡制動を用いた低振動停止法⁽²⁾

図1に冷蔵庫に一般的に用いられるレシプロ圧縮機の負荷トルク特性を示す。圧縮機では圧縮・排出工程に生じる負荷トルクにより停止時振動が発生する。ここで、排出から吸引工程へ切り替わる点(機械角 0 deg.)を上死点と呼ぶ。

図2に提案する低振動停止法を適用した際のモータ速度、位相および電流振幅を示す。本手法では、フリーランにより減速させた後に上死点で短絡制動に切り替える。そして、負荷トルクの小さい吸引工程でモータを停止することで振動を低減する。また、インバータ保護のために短絡制動とゲート遮断を組み合わせ合わせた電流制御法を適用している。

図3に短絡制動およびゲート遮断時のスイッチングパターンを示す。モータ電流が上側閾値を上回った際にはゲート遮断に切り替え、下側閾値を下回った際には短絡制動に切り替えることで電流振幅を制御する。図3より、短絡制動時にはインバータ出力端を短絡するため、モータ電流を制御するには交流側の各相に電流センサが必要となる。

3. 直流側ワンシャント電流検出に対応した電流制御

図4に本論文で対象とするモータ駆動システムを示す。家電分野ではセンサ数削減のために、直流側の電流を検出するワンシャント電流検出方式が採用される⁽³⁾。1相のスイッチのみ他相と異なるバスに接続されている場合、直流側

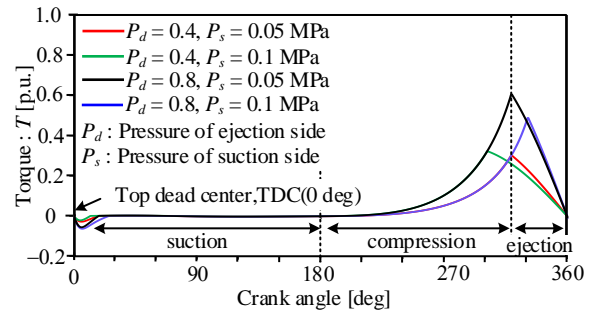


Fig.1. Pressure characteristics of compressor.

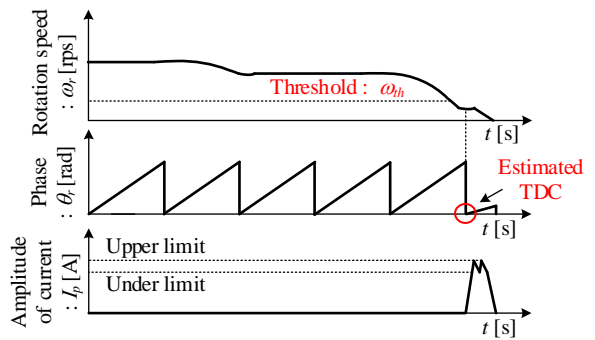
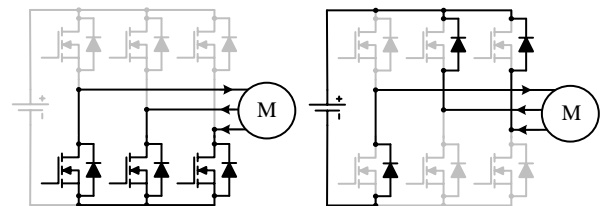


Fig.2. Phase, rotation speed, and current amplitude waveform.



(a) Short-circuit braking (b) Gate off mode

Fig.3. Switching pattern of current control mode.

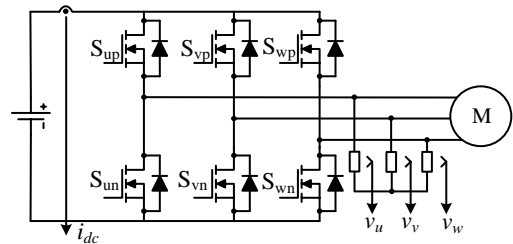


Fig.4. System configuration Using DC side current sensor.

電流はその相のモータ電流に一致する。そのため、PWM キャリア 1 周期中に複数回検出を行うことで、直流側電流セ

ンサを用いて各相のモータ電流を検出できる。運転時には、モータの誘起電圧から推定した磁極位置に応じてスイッチングパターンを決定する。しかし、ゼロ速付近では誘起電圧が小さくなるため、磁極位置を精度よく推定することが困難になる。そこで、モータ停止時には磁極位置情報を必要としない電流制御法が必要となる。

本論文では、直流側電流センサのみで適用可能な停止時の電流制御法を提案する。提案法では、キャリア周期ごとに通電相(上側スイッチを ON にする相)を切り替えることで、直流側電流センサを用いてモータ電流を検出する。

図 5(a)に提案法適用時のスイッチングパターンを、(b)に直流側電流、モータ電流および電圧波形を示す。図 5(a)より、提案法適用時の直流側電流は通電相のモータ電流に一致する。そのため、通電相を切り替えることで直流側電流センサのみで 3 相のモータ電流を検出できる。そして、直流側電流が閾値を超えた際には、従来電流制御時と同様にゲート遮断に切り替えることで電流振幅を制御する。

図 5(b)より、インバータ電圧は通電相では $2V_{DC}/3$ 、非通電相では $-V_{DC}/3$ となる。よって、キャリア周期ごとに通電相を切り替えることでインバータ出力電圧の平均値はゼロとなり、短絡制動と同じになる。そのため、誘起電圧が小さくなるゼロ速付近では制動トルクが低下し、モータを緩やかに停止できる。

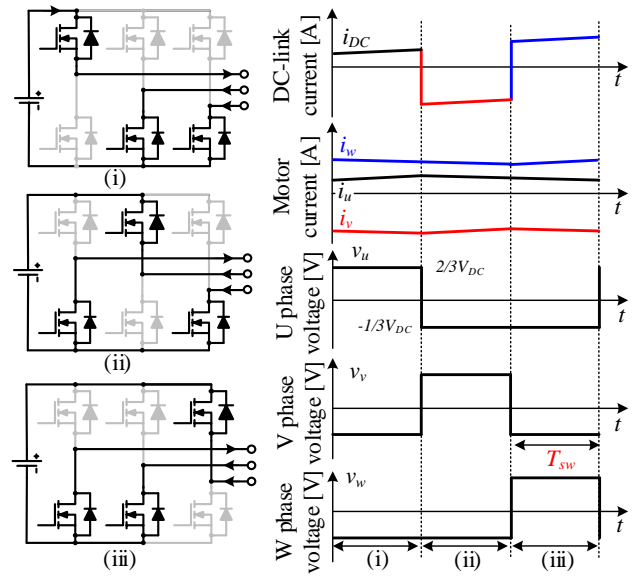
4. 実験結果

図 6 に提案法を用いてモータを停止させた際の回転速度推定値、電流波形および圧縮機に取り付けた加速度センサの出力波形を示す。ここで、圧縮機には速度センサを取り付けられないため、回転速度はフリーラン時の誘起電圧から推定している。また、ヒステリシス電流制御は上限を 1 A、下限を 0.9 A に設定した。図 6 より、提案する電流制御法によりモータ電流振幅を一定に制御できていることがわかる。

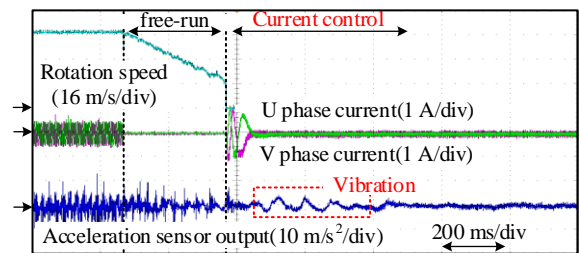
図 7 に異なる圧力条件において従来法(フリーラン)、低振動停止法(短絡制動)⁽²⁾および提案法を用いて 10 回ずつモータを停止させた際の振動特性を示す。図 7 より、従来法(フリーラン)と比較して停止時に生じる振動を、最大で低振動停止法(短絡制動)では 71.5%、提案法では 71.9% 低減できている。そのため、提案法を適用することで追加のセンサを使用することなく停止時振動を低減できる。

5. おわりに

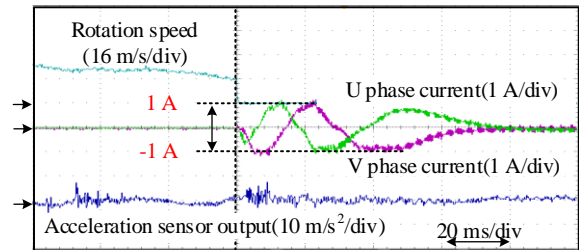
本論文では、ワンシャント電流検出方式を適用可能な停止時の振動低減法を提案した。提案法では、キャリア周期ごとに通電相を切り替えることで、位置情報を用いずにモータを緩やかに停止できる。提案法により、従来使用されるフリーラン停止法と比較して、振動振幅を最大で 71.9% 低減できることを実機実験により検証した。



(a) Switching pattern (b) Current and voltage waveforms
Fig.5. Waveform and switching pattern of proposed method.



(a) Estimation speed and current waveform.



(a) Enlarged the waveform at control change point.
Fig.6. Characteristics of vibration with proposed method.

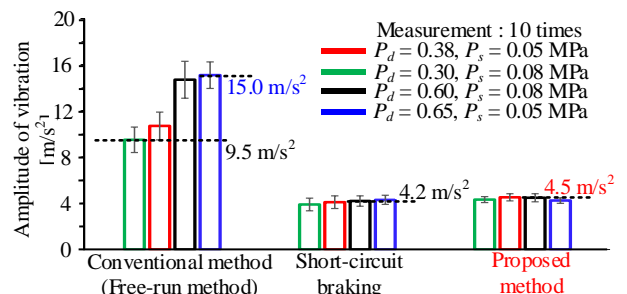


Fig.7. Peak vibration value in terms of pressure conditions.

- (2) 塩井太介, 熊谷崇宏, 伊東淳一:「コンプレッサ駆動用モータの停止時振動低減法」,SPC20-0228, HCA-20-078, VT-20-083 (2020)
- (3) 電気学会・センサレスベクトル制御の整理に関する調査専門委員会:「AC ドライブシステムのセンサレスベクトル制御」, オーム社, (2016)

文 献

- (1) 岩田博, 中村満, 松下修己, 須藤正庸:「空調用圧縮機の振動と騒音」, 日本冷凍協会論文集, Vol.7, No.2, pp.1-13(1990)