

モータ制御：エアコン用圧縮機制御の高性能化

Motor Control : Improvement in Performance of Compressor Control for Air Conditioner

亀山 浩幸* 松下 元士* 池防 泰裕*
Hiroyuki Kameyama Motoshi Matsushita Yasuhiro Ikeboh

要 旨

エアコン用圧縮機制御技術として、特に高回転域の拡大に効果を発揮する「電圧／電流位相差制御による正弦波駆動技術」と特に低回転時の振動低減に効果を発揮する「モータトルク制御による矩形波駆動技術」の異なる二つの駆動技術を開発し、それらを運転条件により切り換えることで、省エネ・静音化・低振動化・運転範囲の拡大など様々な要望を実現した。ここでは、これらのエアコン用圧縮機制御の高性能化技術と実験結果、省エネ効果などについて説明する。

We have developed two different driving technologies of a compressor control for the air conditioner. The first technology is “Sine wave drive technology by voltage/current phase difference control” that achieves the effect when compressor is driven at high-speed. The second technology is “Rectangular wave drive technology by motor torque control” that achieves the effect when compressor is driven at low-speed. We have achieved various demands such as the energy saving, the noise reduction, the vibration reduction and the operating range expansion by using these two driving technologies. In this paper, we explain the improvement of the compressor control for the air conditioner, the experimental result and the effect of the energy saving.

まえがき

近年、省エネルギー・環境保護は社会的な関心が高く、さらに業界トップの消費電力を基準とする『トップランナー方式』の省エネ基準法が施行される等の状況から、家電製品においては消費電力の低減が重要かつ必須の技術となってきた。このような動きの中で、モータ技術の分野においては、エアコンの基幹部品である圧縮機モータの低消費電力化、すなわち高効率化が望まれている。この圧縮機モータを駆動制御する技術は、エアコンの性能を左右する大きな要素であり、近年は、省エネ・高効率化以外にも静音化・低振動化なども要求されている。

また、エアコンが、様々な温度条件で最適な冷暖房能力を発揮するためには、圧縮機モータは低回転から高回転までの幅広い運転範囲が求められる。このような様々な要望を一つの駆動技術で全て満足することは困難であるため、我々は、特に高回転域の拡大に効果を発揮する『電圧／電流位相差制御による正弦波駆

動技術』と特に低回転時の振動低減に効果を発揮する『モータトルク制御による矩形波駆動技術』の異なる二つの駆動技術を開発し、それらを運転条件により切り換えることで、常に最適な圧縮機モータ駆動の実現に成功した。

また、圧縮機モータを一旦停止することなく、駆動中の安定切換を実現する技術も同時に開発し、使用性の向上を図り、圧縮機モータ駆動の信頼性も確保した。

今回、これらのエアコン用圧縮機制御の高性能化技術について報告する。

1. 電圧／電流位相差制御による正弦波駆動技術

1・1 位相差制御技術の概要

圧縮機に使用されている埋込磁石同期モータを駆動するためには、ロータ位置を検出することが不可欠であるが、通常、圧縮機内部は高温高圧のためロータ位置センサを内蔵できない。そこで、従来から一般的に用いられている120度矩形波通電制御では、60度の無

* 電化システム事業本部 電化商品開発センター 第3開発室

通電区間において、巻線誘起電圧によりロータ位置を検出する方式が採用されてきた。しかし、正弦波駆動を行う場合、無通電区間が存在しないため、この方法を用いることができない。

そこで、モータ電流とモータ電圧の位相差と効率に相関があることに着目し、図1に示すようにこの位相差を最適な値に制御することで、ロータ位置検出しに高効率な正弦波駆動を実現した¹⁾。

また、モータの回転数はモータ巻線に通電するPWM変調された正弦波からなるモータ電圧の周波数で決定される、いわゆる強制励磁駆動であり、この周波数を高

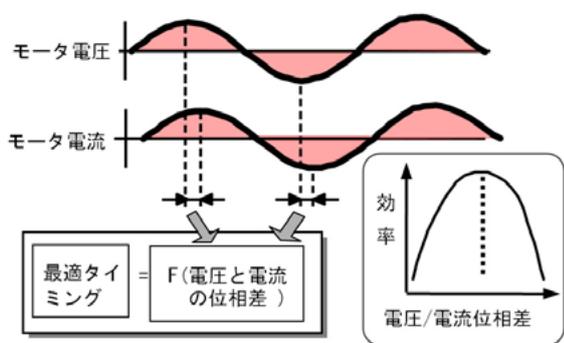


図1 位相差制御方法

Fig. 1 A method of phase difference control.

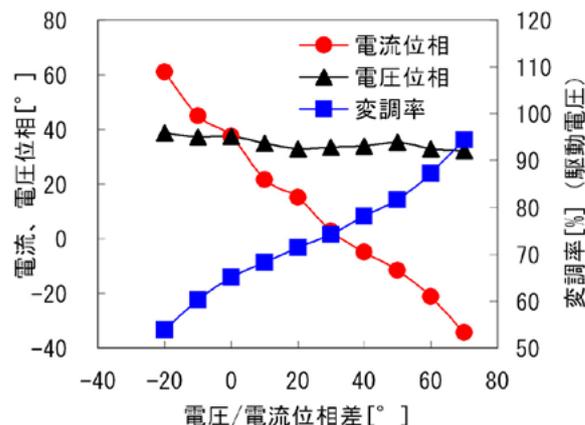
くすることにより、弱め磁束領域でのモータ駆動を行う。加えて、過変調PWM制御により出力電圧を増加し、高回転域の拡大を図っている。

1・2 位相差制御技術の特性

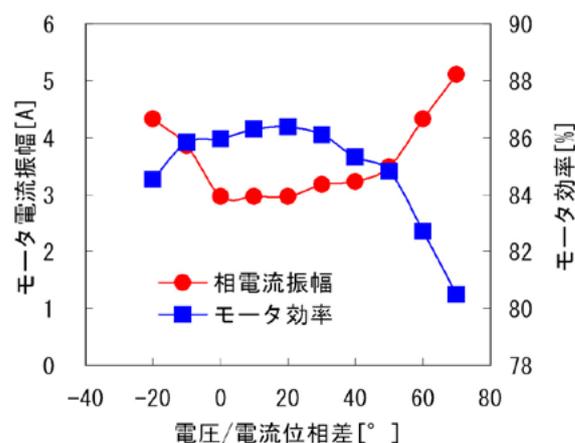
図2に電圧／電流位相差制御で圧縮機モータを正弦波駆動した場合の実験結果を示す。変調率（駆動電圧）を調整することにより、電圧／電流位相差を制御することができる。また、電圧／電流位相差と電流位相には相関があり、電圧／電流位相差を制御することで間接的に電流位相を制御できる。なお、電圧／電流位相差が変化するとモータ電流振幅やモータ効率が変化するため、高効率運転を行うためには、電圧／電流位相差を所望の値（図2（b）では20°程度）に制御する必要がある。

1・3 エアコン用圧縮機制御への適用

図3に圧縮機モータの巻線ターン数変更時の特性を示す。巻線のターン数を増加することにより、モータ効率を向上することが可能であるが、従来の矩形波駆動では最高回転数が低下してしまう。最高回転数の低下は、エアコンにおいて暖房性能の劣化を引き起こす。



(a) 位相差－電流，電圧位相，変調率特性



(b) 位相差－モータ電流振幅，モータ効率特性

図2 位相差制御の実験結果 (3000min⁻¹, 0.88Nm)

Fig. 2 Experiment result of phase difference control.

しかし、電圧／電流位相差制御による正弦波駆動を適用することにより、ターン数増加前以上の最高回転数を確保でき、パワフルなスピード暖房を実現できる。

図4に圧縮機モータの騒音測定結果を示す。聴感上で問題となる2kHz付近において、正弦波駆動による騒音の低減が確認できる。圧縮機の騒音が大きくなる高速時は正弦波駆動を行うことで、矩形波駆動に比べ騒音の低減が図れる。

2. モータトルク制御による矩形波駆動技術

2・1 矩形波駆動の概要

一般的に用いられている120度矩形波通電制御であり、ロータ位置検出は、60度の無通電区間の巻線誘起電圧から検出する方式を用いている。また、ロータ1回転中の位置検出間隔の変動を検出することにより、トルク制御に必要な負荷トルクの状態を検知している。

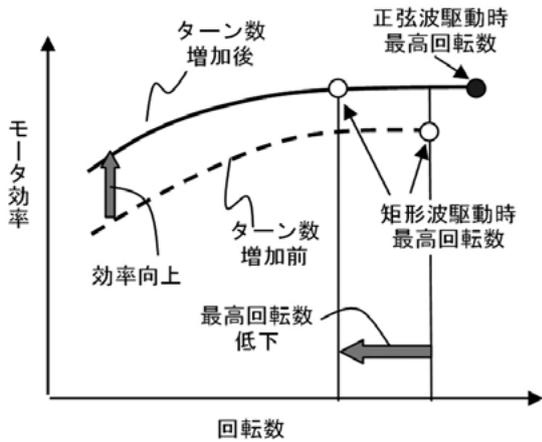


図3 圧縮機モータの巻線ターン数変更時の特性
Fig. 3 Characteristic when winding turn number of compressor motors is changed.

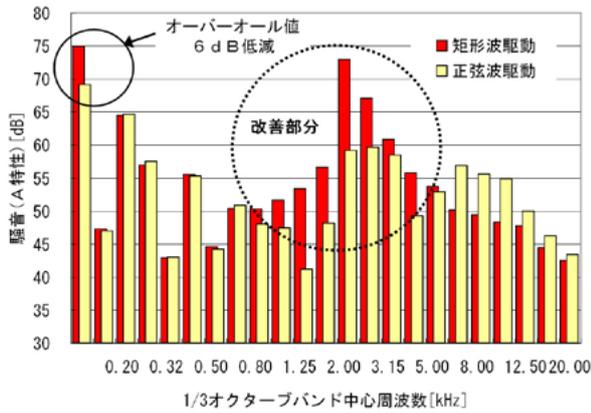


図4 圧縮機モータの騒音 (3000min⁻¹)
Fig. 4 Noise of compressor motor.

2.2 トルク制御技術の概要

圧縮機の圧縮機構には、シングルロータリ、ツインロータリ、スクロールなどの方式がある。この中で低コスト・高効率の特長を持つシングルロータリ圧縮機は、その構造上、吸入・圧縮・排出行程での負荷変動が大きく振動が発生していた。この負荷トルク変動による振動を低減するため、図5に示すように従来は一定電圧を印加していた制御に対し、負荷トルクパターンに合わせたモータトルクを制御することで、ロータ加速度を一定にし、振動を低減している。

2.3 トルク制御の実験結果

シングルロータリ圧縮機を振動が大きくなる低速で駆動した場合の従来方式とトルク制御のモータ電流波形を図6に示す。従来方式では、モータ電流の振幅はほぼ一定であるが、トルク制御では、負荷トルクに合わ

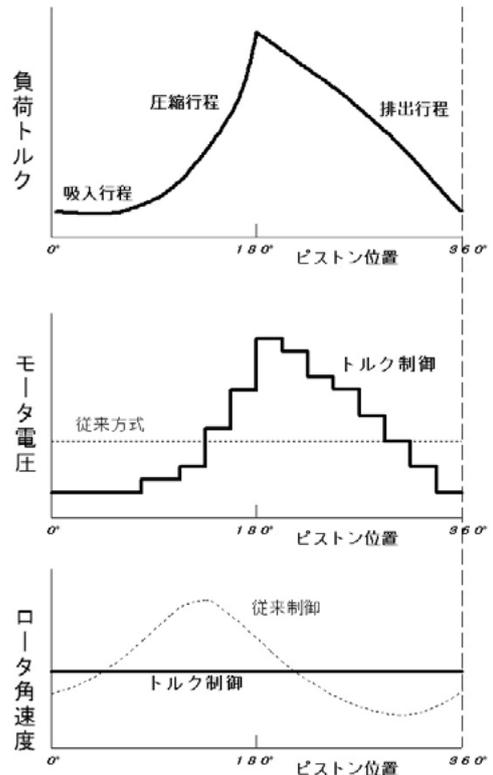
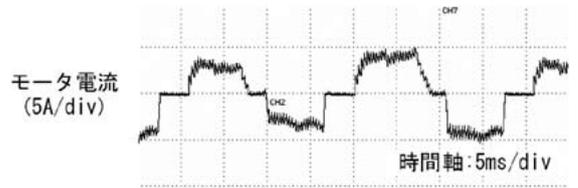
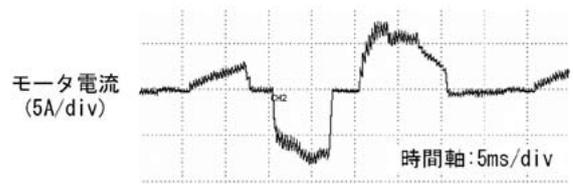


図5 トルク制御方法
Fig. 5 Method of torque control.



(a) 従来方式



(b) トルク制御

図6 モータ電流波形 (1500min⁻¹)
Fig. 6 Current wave of motor.

せて大きなトルクが必要などころでは電流振幅を大きく、トルクが不要などころでは小さくしている。

図7は、圧縮機の振動測定結果である。なお、トルク制御は、3000min⁻¹以下の回転数で適用している。特に振動が大きくなる低速域において、トルク制御により

大幅な低振動化を実現した。また、エアコンへの搭載を考えた場合、従来方式では振動が大きくなる低速域での運転は不可能であり、最低回転数は1800min⁻¹程度であるが、トルク制御を行うことにより最低回転数を500 min⁻¹とすることも可能となり、低回転域を大きく拡大でき、エアコンの省エネ運転に寄与している。

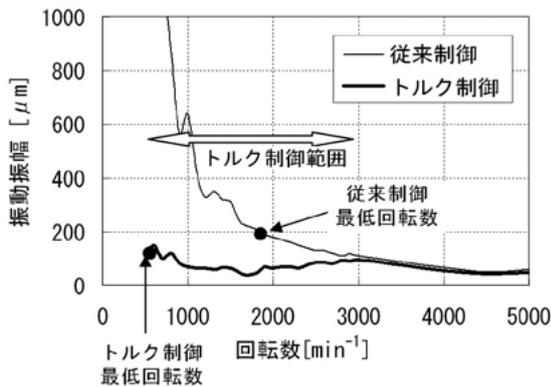


図7 圧縮機の振動
Fig. 7 Vibration of compressor.

3. 駆動方式切替技術

表1に駆動方式の切替状態を示す。矩形波駆動では、誘起電圧を直接検出しており、モータ回転位置を正弦波駆動に比べ正確に検出しているため、モータ起動時には強制励磁運転からセンサレス運転に容易に短時間で移行することが可能である。また、低速時は、モータトルク制御による矩形波駆動を行うことにより、シングルロータリ圧縮機特有の振動を低減し、高速時は、電圧／電流位相差制御による正弦波駆動を行うことにより、高回転域の拡大と騒音の低減を図っている。

また、圧縮機モータを一旦停止することなく、駆動中の安定切替を実現する技術を開発し、使用性の向上を図るとともに、圧縮機モータ駆動の信頼性も確保している。矩形波駆動から正弦波駆動への切替時には、切替時点の矩形波駆動のPWMデューティから切替後の正弦波駆動の変調率を演算し、矩形波駆動の通電モードと回転数に応じて正弦波駆動を開始する通電位相を

表1 駆動方式の切替

Table 1 Change of drive system.

	駆動方法	トルク制御
起動時	矩形波駆動	なし
低速時	矩形波駆動	あり
高速時	正弦波駆動	なし

決定することにより、矩形波駆動から位相情報を引き継ぎ、正確な通電位相で安定に移行することができる。

一方、正弦波駆動から矩形波駆動への切替時には、切替時点の正弦波駆動の変調率から矩形波駆動のPWMデューティを演算し、正弦波駆動の通電位相に応じて、切替後の矩形波駆動の通電モードを決定することで、安定に移行することができる。

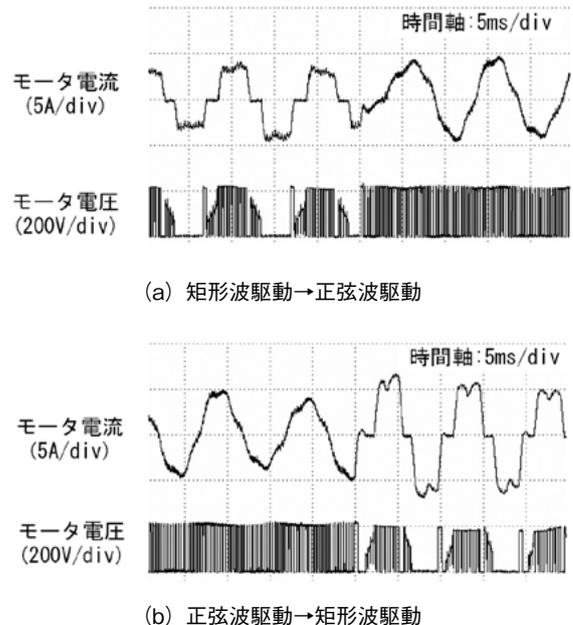


図8 駆動方式切替時の波形
Fig. 8 Waveforms when drive system is switched.

図8に駆動方式切替時のモータ電流とモータ電圧波形を示す。通電が途切れることなく、切替が出来る事が分かる。

4. エアコンへの搭載

制御ブロック図を図9に示す。これまで紹介した技術は、モータ制御用タイマ出力機能を有する16bitマイコンのソフトウェアで構成している。

図10に当社エアコンの期間消費電力量の推移を示す。これまで紹介した技術は、AY-S28SC等に採用されており、期間消費電力量の低減に大きく寄与している。また、『トッランナー方式』における省エネ基準達成率100%以上を実現している。

また、電圧／電流位相差制御による正弦波駆動技術は、スクロール圧縮機を搭載したAY-T40SX等にも採用されている。スクロール圧縮機に使用されている超省エネ・高磁束モータの駆動に、電圧／電流位相差制

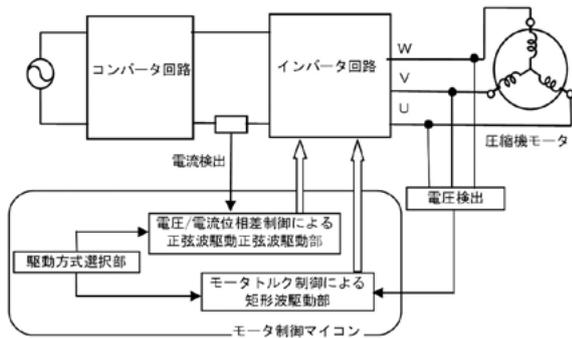


図9 圧縮機モータ制御ブロック図
Fig. 9 Block diagram of a compressor motor control.

御による正弦波駆動技術を適用することにより、騒音の低減を図るとともに、業界トップクラスの省エネルギーを実現している。

むすび

異なる特長を持つ二つの圧縮機モータ駆動技術をエアコンに搭載し、それらを切り換えることにより、省エネ・高効率化・静音化・低振動化・運転範囲の拡大など様々な要望を実現した。

本技術を搭載したエアコンは省エネ性に加え、パワフルなスピード暖房を実現するとともに、シングルロータリ圧縮機でツインロータリ圧縮機圧並みの低振動化を図っている。さらに、本技術は冷蔵庫など他の商品へも応用も期待できる。

謝辞

本技術の研究開発にあたり、ご尽力、ご指導、ご協力頂いた精密技術開発センター、空調システム事業部第1技術部をはじめ、関係各位に深く感謝致します。



(a) AY-S28SC



(b) AY-T40SX

図10 期間消費電力量の推移

Fig. 10 Transition of period amount of power consumption.

参考文献

- 1) 中谷・大塚, “PMモータにおける位置センサレス正弦波駆動”, 電気学会回転機研究会資料, RM-01-57 (2001).

(2006年6月16日受理)