

2019年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	東京都立産業技術高等専門学校
職位または役職	助教
氏名	阿部晃大

1. 研究題目

省エネモータ家電を国際普及させる電解コンデンサレスインバータのモータ効率改善

2. 研究目的

近年、中国やインドなど新興国において家電の需要が増加し、省エネ性の高いインバータ家電の要求が世界的に高まっている。しかし、インバータ搭載により発生する電源高調波は他機器に悪影響を与えるため規制が厳しく、高調波を抑制する力率改善(PFC)回路が必要不可欠となりコストがかかる。これがインバータを搭載した省エネモータ家電の国際普及を妨げている。インバータエアコンは永久磁石モータとの併用で、インバータなしの場合に比べ消費電力を約40%も削減できるものの、海外での普及率は50%にも満たない。

従来のインバータシステムは図1(左)のように構成され、PFC回路が電源電流を、インバータがモータを制御し、別個に技術開発が行われている。各変換部が独立して制御を行うため動作はシンプルであるが電力の非干渉化が必須で、変換器間に数千 μF の大容量電解コンデンサを使用しなければならず小型軽量化に限界があった。本研究では、図1(右)に示す構成回路が簡素で低コストな電解コンデンサレスインバータのみで電源電流とモータを同時に制御するとともに、電源側も考慮した高効率モータ制御の理論確立を目的とする。

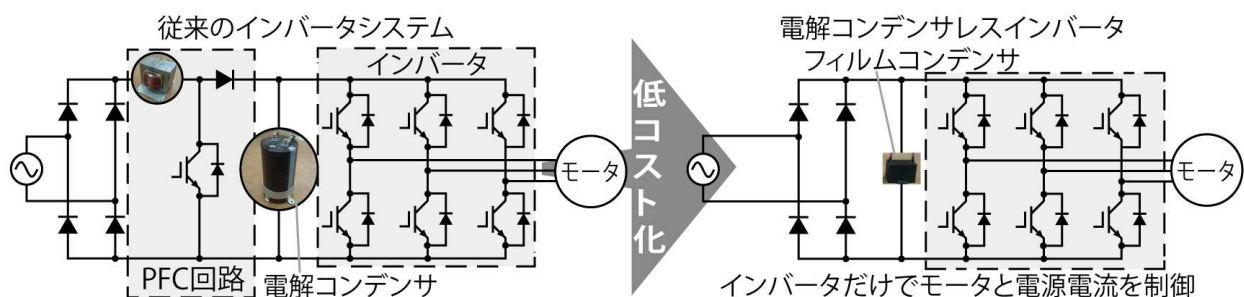


図1 インバータ主回路比較

3. 研究内容及び成果

本システムはエネルギー蓄積要素がないため、リップルのある電源電圧をモータへ直接供給する。このため、電源電圧を正弦波に制御した場合、モータ電流のピーク値は増加する。また、モータには全波整流した電源電圧が印加されるため、印加電圧がゼロとなる期間が必ず生じてしまう。高速回転時、この期間は逆起電圧によりモータ電流が過剰に流れ、モータ損が増加する。このように本システムは、非インバータ機に比べれば効率は良いが、通常の高コストなインバータ機と比較すると効率が劣る。本研究では、ゼロ出力電圧時の電流応答を解析し、電圧飽和してしまう前に予め最適な d 軸電流を流しておくことでモータ電流増加による効率低下を改善した。

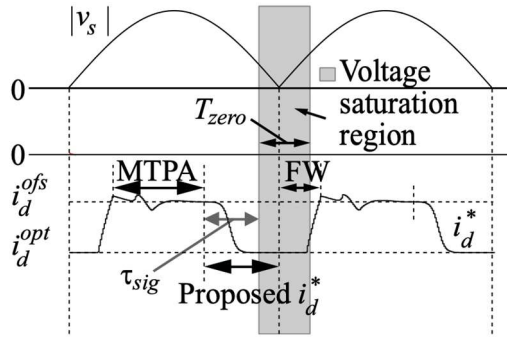
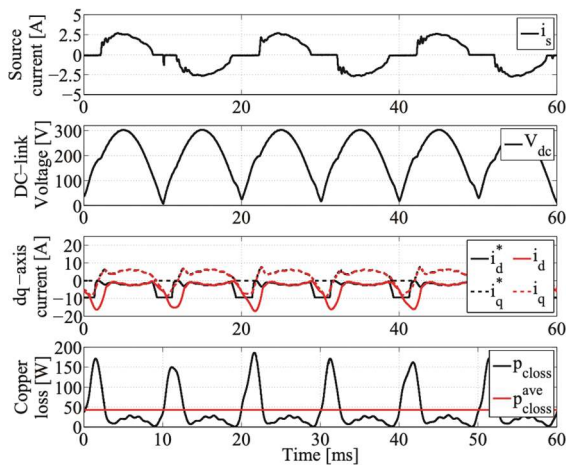


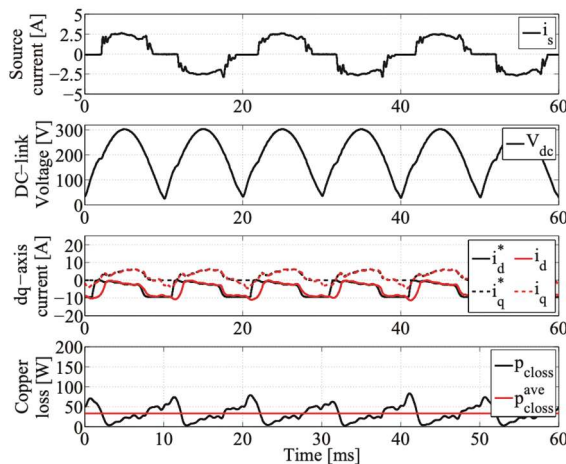
図 2 d 軸電流指令値

図 2 に提案する d 軸電流指令値の概形を示す。電源電圧が十分に高い領域では一般的な最大トルク/電流 (MTPA) 制御を、電源電圧がゼロに近い領域では弱め磁束 (FW) 制御を使用する。ゼロ出力電圧領域付近では弱め磁束制御により d 軸電流指令値が計算しているが、出力電圧がほぼゼロとなるため d 軸電流応答は指令値に追従できず、逆起電圧に応じたモータ電流が流れる。逆起電圧によるモータ電流および銅損の増加を抑制するため、提案する手法では電圧飽和領域に入る前に予め最適な d 軸電流を流す。この時、急峻に電流を変化させると電源共振を励起してしまうため、今回はシグモイド関数を用いて τ_{sig} の期間をかけて緩やかに増加させた。

図 3(a)に示す従来法の実験結果では、インバータへの入力電圧である直流リンク電圧がほぼゼロとなる期間でモータ電流が増加し、銅損が瞬時的に増えている。図 3(b)に示す提案法の結果では、直流リンク電圧が低下する前に予め d 軸電流を増加させておくことで銅損増加を抑制し、電源周期で平均して損失を低減できている。図 4 に各負荷条件での効率比較を示す。重負荷条件では q 軸電流が増加するため、最大トルク/電流制御で得られる d 軸電流指令値も大きくなる。これに伴い、ある程度の d 軸電流が電圧飽和領域前に予め流れるため、提案法適用前後での効率変化が小さくなっている。一方、軽負荷領域では d 軸電流があまり流れず、提案法によるモータ効率の改善効果が顕著となり、効率が最大で 8.52 ポイント改善された。



(a) 従来法



(b) 提案法

図 3 実験結果

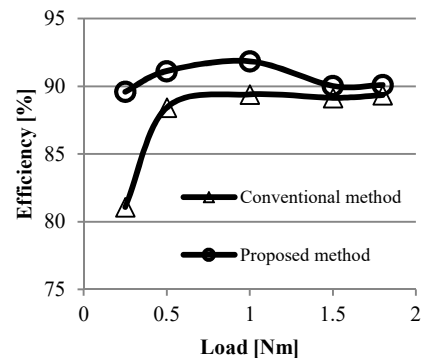


図 4 モータ効率

4. 今後の研究の見通し

モータ効率を改善するもう1つのアプローチとして、IEC 電源高調波規格を満たす範囲内で 3 次高調波等の低次高調波を積極的に印加し、モータ電流ピークを低減できないか検討した。結果として期待通りのモータ効率改善効果は得られなかったが、電解コンデンサレスインバータの電源電流に任意の高調波電流を発生させることができた。次年度はこれを応用し、アクティブフィルタ機能を電解コンデンサレスインバータに搭載させるモータ制御技術を検討する。

図 5 に示すように、空調システムはコンプレッサモータを駆動する電解コンデンサレスインバータだけでなく、ファンモータの駆動装置等、多数の機器が並列接続される。電源高調波規格を満足させるため、各機器に高調波を低減する付加回路・受動素子フィルタが搭載されるとコスト増加の要因となる。そこで、本研究では電解コンデンサレスインバータにアクティブフィルタ機能を付加するモータ制御技術を検討し、空調システムの更なる低コスト化を図る。電解コンデンサレスインバータをアクティブフィルタとして機能させるには、インバータのモータ制御系に電源電流制御系を内包させ、かつ電源電流に任意の高調波を発生できるようにする必要がある。

今年度行った研究で電源電流に任意の高調波を発生させることが可能になったことを応用し、並列接続された機器から発生する高調波電流を電解コンデンサレスインバータにフィードバックし、この高調波と逆位相の高調波電流を電解コンデンサレスインバータ側の入力電流に発生させることでアクティブフィルタ機能の搭載を図る。

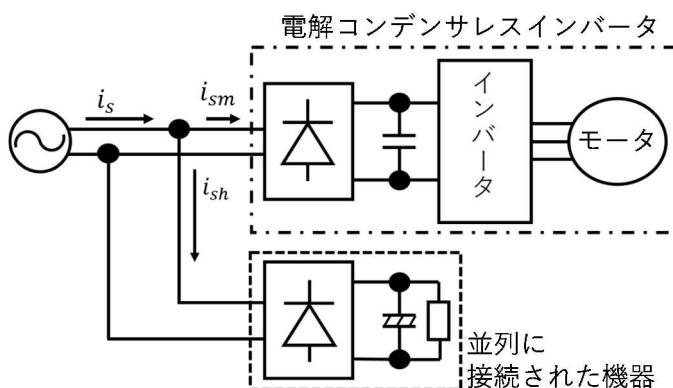


図 5 ファンモータ等を含めた空調システム

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

学術論文(査読付)

・K. Abe, H. Haga, K. Ohishi, Y. Yokokura, H. Kada, "Source Current Harmonics and Motor Copper Loss Reduction Control of Electrolytic Capacitor-less Inverter for IPMSM Drive," IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 8, No. 3, pp. 404-412, 2019.