

2020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を用いたアクティブフィルタ

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。

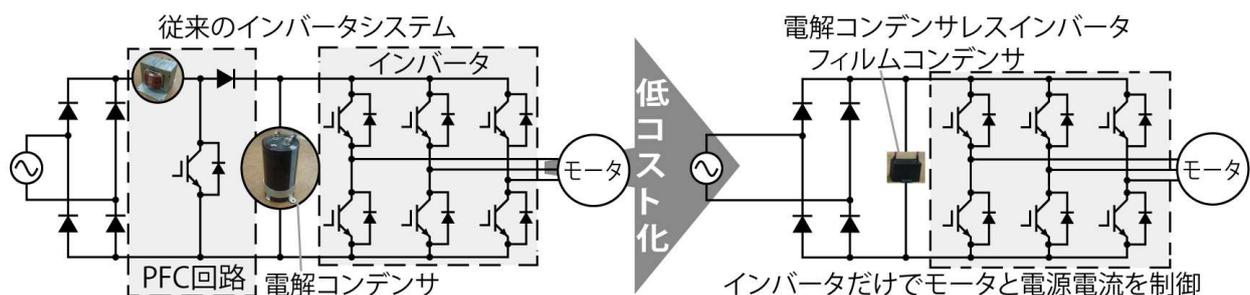


図1 インバータ主回路比較

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、モータには全波整流した電源電圧が直接印加されるため、直流リンク電圧がゼロとなる期間が生じてしまう。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。また、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ため、高調波を抑制する回路もこれに応じて別途必要となる。

前年度までは、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電源電流へ積極的に重畳し、電源電力脈動に起因するモータ電流ピークを低減できないか検討したが、期待通りのモータ効率改善効果は得られなかった。今年度は図 2 のように電源電流を矩形波状に制御して電源電流がゼロとなる期間を設け、直流リンク電圧の低下を防ぐ手法を検討した。これにより、モータへの印加電圧がゼロにならず、一定の電圧値を確保し、モータ電流の過剰増加を防ぐ。

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するため、銅損が増えてしまう。図 3(b)に示す提案法の結果では、電源電流を矩形波状に制御することで直流リンク電圧の低下を防止し、モータ電流制御性能の劣化を防ぎ、銅損を低減している。モータ効率は 91.12%から 93.27%へ約 2 ポイント改善できた。

また、電源高調波を制御するこの技術を応用し、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した結果を図 4 に示す。並列接続された他機器が発生させる高調波を、電解コンデンサレスインバータで逆位相の電流を流すことで相殺できている。

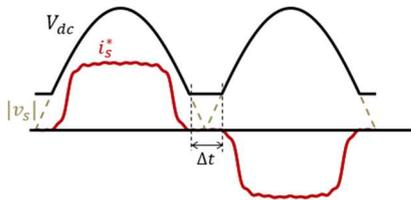
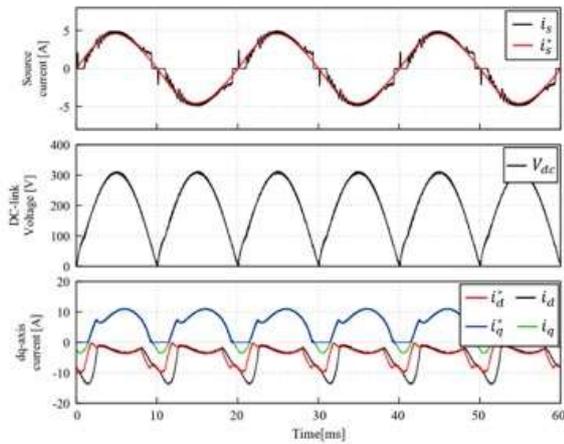
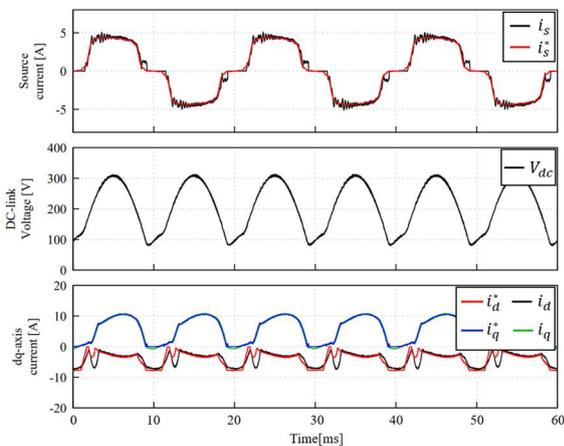


図 2 電源電流と直流リンク電圧波形

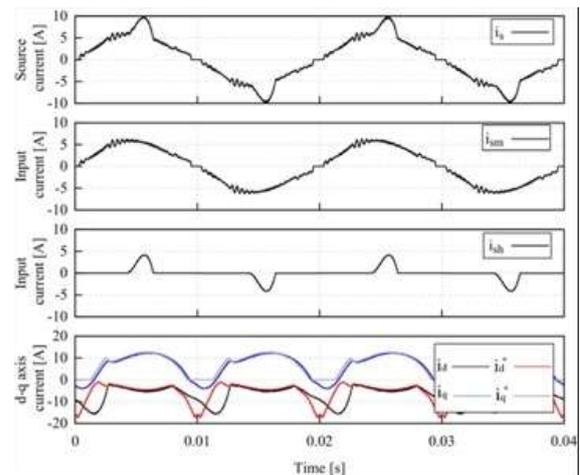


(a) 従来法

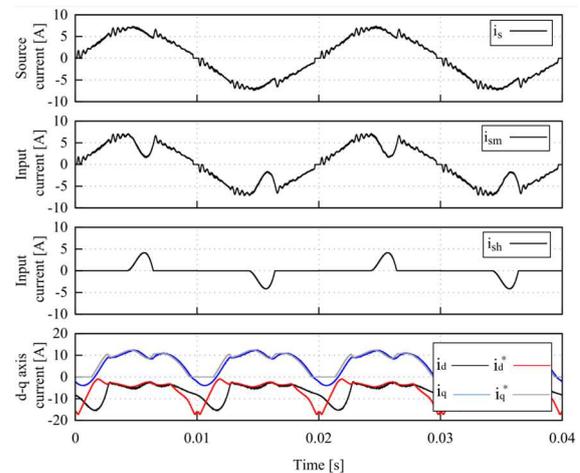


(b) 提案法

図 3 シミュレーション結果(モータ効率改善)



(c) 従来法



(d) 提案法

図 4 シミュレーション結果(アクティブフィルタ)

4. 今後の研究の見通し

前述した提案法2つは、シミュレーションで妥当性を確認できたので、今後は実機実験での検証を行う。実験結果が取れ次第、論文誌へ投稿する予定である。

また、これまで以下の提案法2つを検討してきた。

- 1.IEC 電源高調波規格を満たす範囲内で積極的に高調波を印加し、モータ電流ピークを低減しモータ効率を改善する手法
- 2.電解コンデンサレスインバータへの入力電流指令値へ、並列接続機器で発生する高調波電流と逆位相の電流指令値を重畳してアクティブフィルタ機能を付与する手法

それぞれ独立した制御系として検討を行っていたが、今後はこの2つの手法を組み合わせる。1と2の手法では、共に電解コンデンサレスインバータへの入力電流指令値を修正することでモータ効率の改善及びアクティブフィルタ機能の付与を達成している。制御操作量が1つであるため、最もモータ効率が良くなる動作点、最もアクティブフィルタ効果が高くなる動作点は異なる。そのため、電源高調波規格を満たす範囲内でアクティブフィルタ機能を高め、かつモータ効率が良くなるよう、電解コンデンサレスインバータの入力電流指令を制御する手法を検討する。

以上により、アクティブフィルタ機能とモータ効率改善を両立する制御技術の確立を検討し、空調システムの更なる低コスト化を目指す。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国内会議(査読無)

・阿部晃大, 林 ハル: 「電解コンデンサレスインバータのモータ効率を改善する電源電流指令値」, モータドライブ/回転機/自動車合同研究会, MD-21-085, RM-21-049, VT-21-010, pp.57-62, 令和3年6月

・志村慎士郎, 阿部晃大: 「電解コンデンサレスインバータを用いたアクティブフィルタによる電源高調波抑制」, 令和3年電気学会産業応用部門大会, 1-82, I-297-III-298