

2021 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	准教授
氏 名	阿部 晃大

1. 研究題目

電解コンデンサレスインバータのモータ効率改善とアクティブフィルタ機能付与を両立する制御系開発

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。

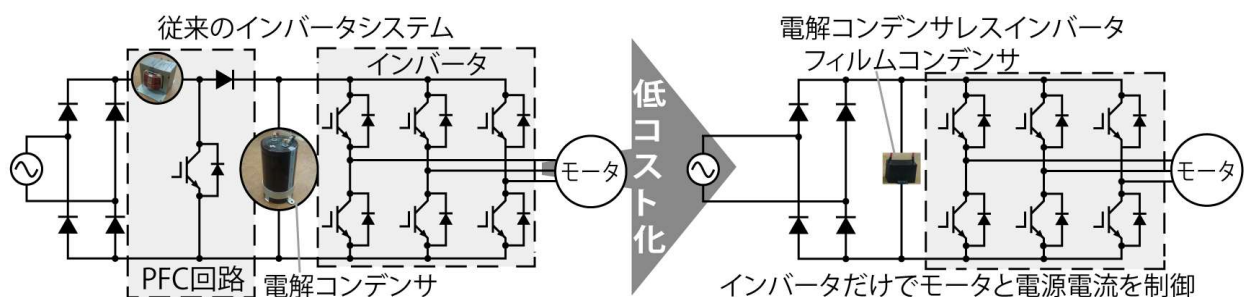


図 1 インバータ主回路比較

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流をモータへ直接供給する。このため、電源電流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。この影響で、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。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、コスト増加の要因となる。前年度まではこれらの問題を個別に改善し、約 2 ポイントの効率向上、アクティブフィルタ機能の追加による付加回路削減がシミュレーションの検証で達成できた。

今年度はまず、実機実験においてアクティブフィルタ機能追加の効果を確認した。図2に全体のシステム構成を示す。ファンモータドライブシステムが並列に接続された場合、コンプレッサドライブシステムが正弦波状の入力電流に制御されていても電源電流は歪んでしまう。図3に示すように、アクティブフィルタ機能を追加することで、並列回路部の高調波を電解コンデンサレスインバータにより補償でき、付加回路無しで電源高調波の低減が確認できた。

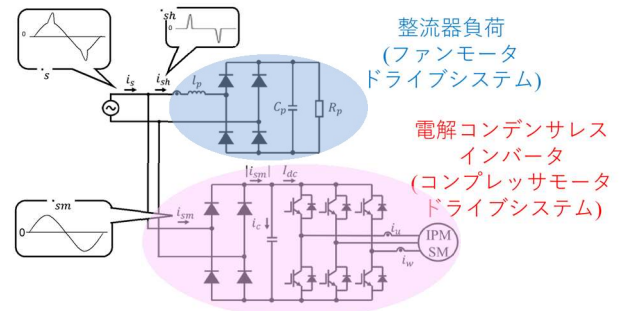
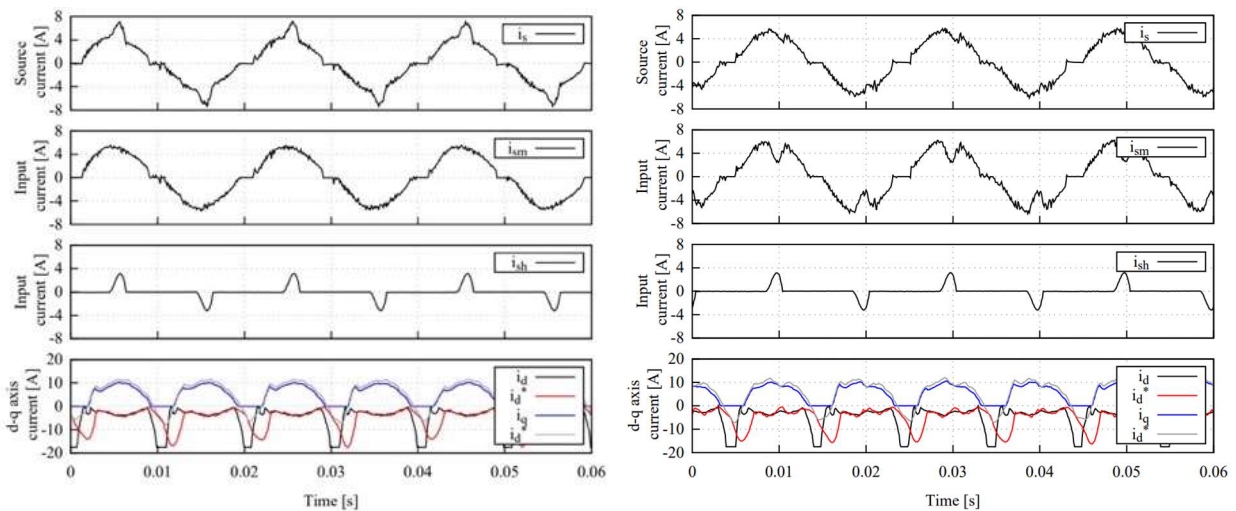


図2 全体のシステム構成



(a)アクティブフィルタ機能なし

(b)アクティブフィルタ機能あり

図3 実験結果

図4に示すように、並列接続されたファンモータ等の消費電力が 120W になるまでは高調波規格 IEC 61000-3-2 を満たすことができた。しかし重負荷時には、シミュレーションに比べ高調波を補償した際に電源電流で共振振動が顕著に生じ、重負荷条件で高調波規格を満たせていない。

この共振励起の問題は、マイコンの制御演算によりインバータの PWM 出力が 1 制御周期遅れてしまうことが原因だと確認できた。提案している制御手法は現在時刻で

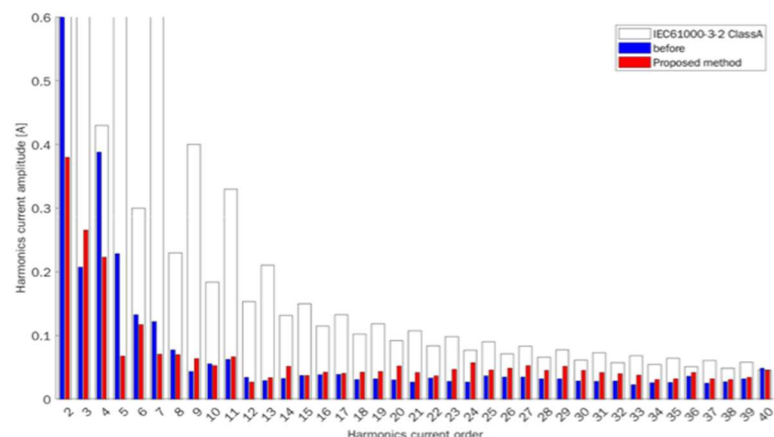


図4 電源高調波

サンプリングした電流情報を基に広帯域で直流リンク電流の制御を行なっているため、通常発生する1制御周期の遅れも無視できない。これは高周波になればなるほど影響が顕著になり、高調波量の規制値が厳しい高周波領域で規制を満足できなくなってしまう。この新たな課題を解決しなければ提案手法の有効性を示せないため、現在はこの課題解決を目標に研究を進めている。

4. 今後の研究の見通し

上記の1制御周期の制御遅れを考慮するためには、1制御周期未来の値を離散方程式から算出し、現在値と未来値から制御周期中の平均値を算出して制御に利用することで解決できる。離散方程式から1制御周期先のモータ電流を求めることで、電圧指令とモータ電流により決定される直流リンク電流も未来値を考慮した平均値で算出できるようになる。今後は上記のような予測制御を直流リンク電流制御系に組み込むことで、制御遅れも考慮したアクティブフィルタ機能の適用を検討していき、モータ効率を向上させる電源電流指令値の適用とアクティブフィルタ機能の適用を組み合わせ、システム効率の向上を目指す。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国際会議(査読無)

・S. Shimura, K. Abe, “Harmonics Suppression by Active Filter Using Electrolytic Capacitorless Inverter,” 18-1P17, IPEC2022

国内会議(査読無)

・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4年電気学会産業応用部門大会, Y-94

・電気学会全国大会で1件の発表を予定

受賞

・IPEC2022 Student Poster Competition Excellent Presentation Award