

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：52605

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14975

研究課題名（和文）省エネモータ家電を国際普及させる究極低コストインバータの電源高調波抑制トルク制御

研究課題名（英文）Source Harmonics Suppression Using Torque Control for Low-Cost Inverter

研究代表者

阿部 晃大（Abe, Kodai）

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・助教

研究者番号：20822894

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、省エネ性の高いモータ家電を国際普及させるために、力率改善回路や高の大きい電解コンデンサ、重いリアクトルなどが一切無いシンプルで小型軽量な低コストインバータを実現することである。インバータの低コスト化への最大の課題は、規格により規制されている電源高調波を抑制するために付加回路が必要なことであり、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の弊害となっている。本研究では、最も簡素な単相-三相電力変換回路である電解コンデンサレスインバータにおいて、インバータから電源までの数式モデルを新しく構築し、電源も考慮したモータドライブシステムを確立する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の難解な点は、インバータだけで電源電流とモータを同時に制御することにある。本インバータにはアクティブに電流を制御できる回路がインバータしかないため、従来システムのPFC回路とインバータの役割を一手に担う必要がある。これを、自己消弧能力を持たない安価なダイオード整流器を使用したシステムで実現することが極めて重要である。また、交流電源からモータまでを1つのシステムとして捉え、交流電力をモータへ直送するシステムの制御理論を確立することは特徴的な検討となる。低コストで省資源なインバータ家電の国際普及は、販売台数の多い家電の資源効率化にも寄与するため意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to realize a simple, compact, lightweight, and low-cost inverter without any power factor correction circuit, bulky electrolytic capacitors, or heavy reactors, in order to promote the international diffusion of energy-saving motor home appliances. The biggest challenge to low-cost inverters is the need for additional circuits to suppress power supply harmonics, which are regulated by standards, and this has been a detriment to the international diffusion of energy-efficient motor home appliances equipped with inverters. In this study, a new mathematical model from the inverter to the power supply is constructed for an electrolytic capacitor-less inverter, which is the simplest single-phase to three-phase power conversion circuit, to establish a motor drive system that also takes the power supply into account.

研究分野：モータドライブ

キーワード：電解コンデンサレスインバータ 直流リンク電流 トルク制御 電源電流高調波

1. 研究開始当初の背景

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、高調波を抑制する大容量リアクトルや力率改善(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、日本ではほぼ 100%のルームエアコンがインバータを搭載しているものの、海外での普及率は 50%にも満たない。家電の使用電力の 54%はエアコン・冷蔵庫・洗濯機などのモータ家電であり、インバータを搭載した省エネモータ家電を普及させることは排出二酸化炭素の削減にも大きく貢献する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、単相全波整流回路と小容量フィルムコンデンサを三相インバータに結合させた最も簡素な回路で低コストインバータを構成し、大容量の受動素子無く、インバータ制御のみで IEC 電源高調波規制を満足することにある。このシステム構成にした場合、アクティブに電流を制御できる回路はインバータしかないため、従来システムの PFC 回路とインバータの役割を一手に担う必要がある。また、交流電源からモータまでを 1つのシステムとして捉え、交流電力をモータへ直送するシステムの制御理論確立が必要となる。

3. 研究の方法

本研究では、電源電流高調波を抑制するインバータ制御技術を実現するため、インバータから電源までの数式モデルを新しく構築し、これを従来のモータモデルと組み合わせ、電源も考慮したモータドライブシステムの物理モデルを確立する。このモデルに基づく電源電流制御系を統合したモータ制御技術について、以下のように検討する。

最初に、物理モデルより得られるインバータ出力電圧と直流リンク電流の関係を利用し、電源電流を正弦波に制御する。また、モータ電流制御系を比例制御のみで構成することで、インバータ出力電圧の修正をモータ電流指令上で行う。これにより、電源電流制御とモータトルク制御の両立を達成する。その後、提案するモータドライブシステムの実証を行うため、実験機器に実装し、評価を行う。

4. 研究成果

電源電流高調波抑制とトルク制御を両立する提案システムを図 1 に示す。直流リンク電流には、インバータのスイッチングパターンに応じて各相電流情報が現れることから、デューティ比に依存して電流量が変わる。このデューティ比はインバータ出力電圧によって変わることから、直流リンク電流はインバータ出力電圧を修正することで任意の値に制御できることがわかる。しかし直流リンク電流を制御するため、モータ電流制御系により演算したインバータ出力電圧を直接修正すると、モータ電流制御性能が下がってしまう。本研究では、電流制御系をダイナミクスを持たない比例制御のみで構成することで、電流指令値の修正が電圧指令値を直接修正するのと等価になる制御構成とした。これにより、モータ電流指令への追従性を担保したまま、直流リンク電流の制御が可能となり、トルク制御と電源高調波の抑制が両立して行える。

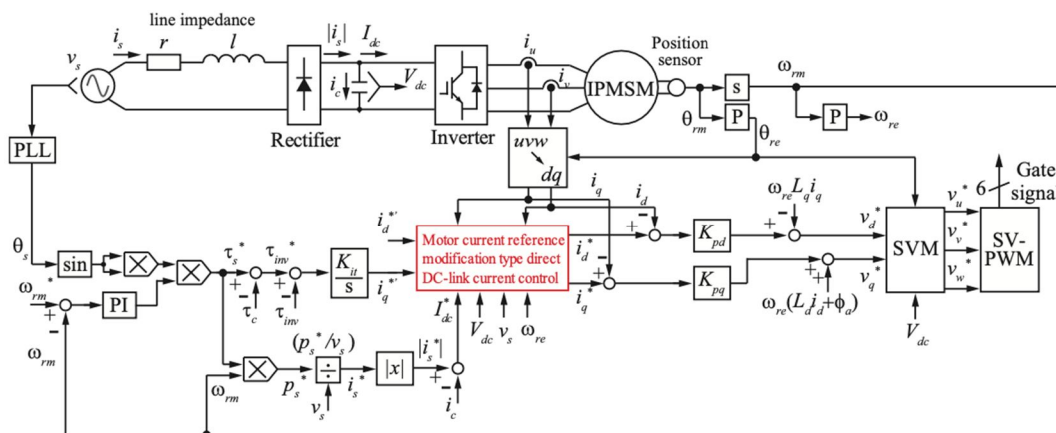


図 1 電源高調波抑制を実現するトルク制御系

図2の実験結果より、受動素子の追加をせずに、インバータ制御のみで電源高調波を抑制できることを確認した。電源高調波解析結果から、電源電流高調波の国際規格 IEC61000-3-2 Class A も満足することが確認できた。

また、図3の電源電流とモータ電流を同時に観測した波形結果から、電源電流の正弦波制御とモータ電流制御の両立が確認できる。通常、電源電流を正弦波状に制御するにはインバータ出力電圧の修正が必要になってくるが、提案システムではモータ電流の指令値修正で電源電流制御を達成できるため、モータ電流の指令値追従性は悪化させないまま電源電流制御が実現できている。

これにより、トルク制御と電源電流制御の両立が達成された。これにより、インバータエアコンの更なる低コスト化が期待できる。

提案制御系の安定性を評価するため、トルクへの影響がより明確になるMT座標へ拡張することも検討した。しかし、提案制御系の制御対象である直流リンク電流とトルクの関係性は見出せなかった。これは、直流リンク電流がモータ電流に依存する

のに加え、インバータの出力電圧値ではなくインバータのデューティ比に依存してしまい、トルク値に影響されず任意の直流リンク電流がインバータで流せてしまうことが原因と考えられる。

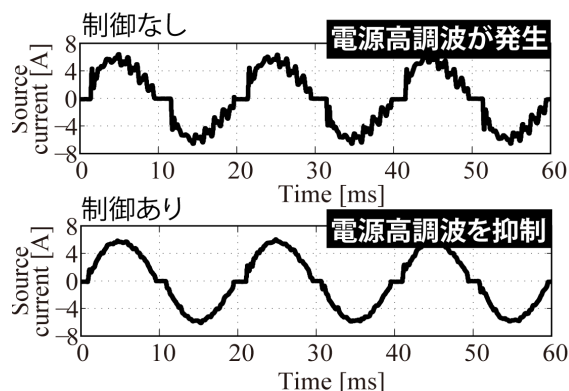


図2 電源高調波の抑制実験

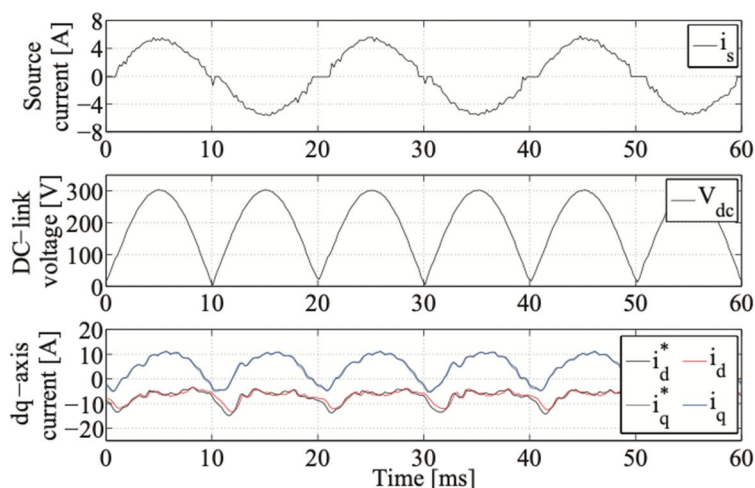


図3 実機実験での電源電流とモータ電流波形

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大野貴志, 阿部晃大, 大石 潔, 横倉勇希, 神谷直仁
2. 発表標題 位置センサレス制御系を考慮した速度変動を抑制するフィードフォワード制御の実機検証
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 品川大成, 大石 潔, 横倉勇希, 阿部晃大
2. 発表標題 三相 三相電解コンデンサレスインバータを用いた PMSM 高力率駆動のための直接直流リンク電流制御
3. 学会等名 令和3年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志村慎士郎, 阿部晃大
2. 発表標題 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
3. 学会等名 令和3年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田 翔, 大石 潔, 横倉勇希, 阿部晃大, 神谷直仁
2. 発表標題 空調機コンプレッサモータの速度振動を抑制するフィードフォワード制御系の検証
3. 学会等名 令和3年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野貴志, 阿部晃大, 大石 潔, 横倉勇希, 神谷直仁
2. 発表標題 位置センサレス制御系を考慮した周期外乱を抑制するフィードフォワード制御
3. 学会等名 令和3年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部晃大, 林 ハル
2. 発表標題 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
3. 学会等名 モータドライブ/回転機/自動車合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 品川 大成, 大石 潔, 阿部 晃大, 横倉 勇希, 井上 達貴
2. 発表標題 誘導電動機の位置センサレス駆動システムのための電解コンデンサレスインバータの電源電流高調波抑制制御 -第二報-
3. 学会等名 半導体電力変換/モータドライブ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Suyama, K. Abe, K. Onishi
2. 発表標題 Damping Control Based on Direct DC-link Current Control for Source-side Resonance in Electrolytic Capacitor-less Inverter
3. 学会等名 STI-GIGAKU2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------