

2018年度 永守財団 研究助成 研究報告書

| | |
|---------|-------|
| 所属機関名 | 筑波大学 |
| 職位または役職 | 助教 |
| 氏名 | 萬年 智介 |

1. 研究題目

駆動用インバータの電力損失を利用した機電一体モータの小型化に関する研究

2. 研究目的

本研究の目的は、モータ駆動用インバータ内部の電力損失を利用した、インバータ一体型モータ駆動システムの小型化・低コスト化技術の開発である。インバータ一体型モータでは、インバータがモータの直近に配置されるため、小型化かつ高温動作が要求される。

これを実現するために、SiC パワーデバイスと小容量の平滑コンデンサがインバータに適用されたシステムが研究されている。Fig. 1 に従来のインバータ回路構成を示す。インバータは一般に、交流電源投入に伴う突入電流を抑制し、パワーデバイスの損傷を防ぐために、スタートアップ回路を備える。しかし、インバータの定常動作時には、本質的にスタートアップ回路は不要であるため、小型化・低コスト化へのボトルネックとなる。小容量の平滑コンデンサを適用した場合、突入電流が小さくなり、スタートアップ回路がなくとも過電流は防止できるが、電源電圧の 2 倍まで平滑コンデンサが充電される。これにより、高耐圧のコンデンサを適用する必要がある、体積増加を招く。

本研究では、小容量の平滑コンデンサ適用時に突入電流が小さいことに着目して、交流電源投入時の平滑コンデンサの過電圧を抑制する制御法を提案し、変換器の寿命に影響を与えることなく実装できることを明らかにする。これにより、Fig. 2 のように、平滑コンデンサの耐圧を増やすことなく、インバータのスタートアップ回路を不要とできる。その結果、インバータ一体型モータの小型化・低コスト化を実現する駆動システムとなる。

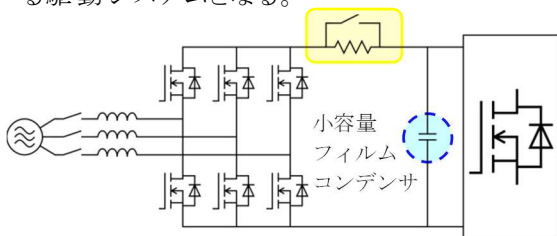


Fig. 1 従来のモータ駆動用インバータ回路

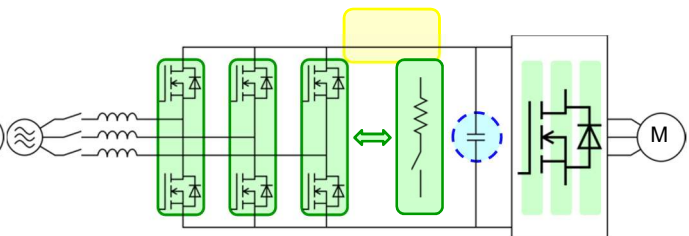


Fig. 2 提案する初期充電回路レスモータ駆動用インバータ

3. 研究内容及び成果

まず、交流電源投入に伴う平滑コンデンサの過電圧抑制法として、インバータのレグ短絡を用いる手法を提案した。提案法は、コンデンサ電圧が設定値よりも高くなった時にレグ短絡を生じさせ、パワーデバイスを介してコンデンサを放電することにより過電圧を抑制する。Fig. 3 に、既に提案していた各相レグ 1 回ずつの短絡を用いる手法の動作概要を示す。ここでは、1 回の短絡で消費するエネルギーが大きく、Fig. 4 のようにパワーデバイスが劣化するため、耐久性に問題があった。これに対して、本研究では Fig. 5 に示すように 1 回あたりの短絡時間を減少させ、各レグ複数回の短絡を行う過電圧抑制法を提案した。提案法によって、レグ短絡によるエネルギー消費が時間的に分散され、パワーデバイスの温度上昇を抑制できることをシミュレーションにより確認した。

提案法を適用した実験を行い、短時間の間に短絡を繰り返す提案法の動作にパワーデバイスが耐えることを明らかにした。また、短絡期間中のオン抵抗を測定し、比較することにより、複数回短絡を適用するとパワーデバイスのピーク温度が抑制されることを確認した。同時に、短絡回数の増加に伴い、パワーデバイスにおける総消費エネルギーが減少することを明らかにした。

次に、提案法を適用したインバータの耐久性の評価を行った。提案する過電圧抑制法は、交流電源投入時や停電復旧時に限って適用される。インバータ一体型モータは、工場など数時間以上の連続運転を行う用途への適用が想定される。そのため、提案法の適用回数は 10 年間で 1 万サイクル程度である。交流電源投入と平滑コンデンサの過電圧抑制を繰り返し行い、パワーデバイスのオン抵抗を評価した。その結果、Fig. 6 のように各相 4 回ずつ短絡させたとき、1 万サイクルを超えてもオン抵抗の変化が 2 割以下であることを明らかにし、提案法がインバータの寿命に影響しないことを確認した。

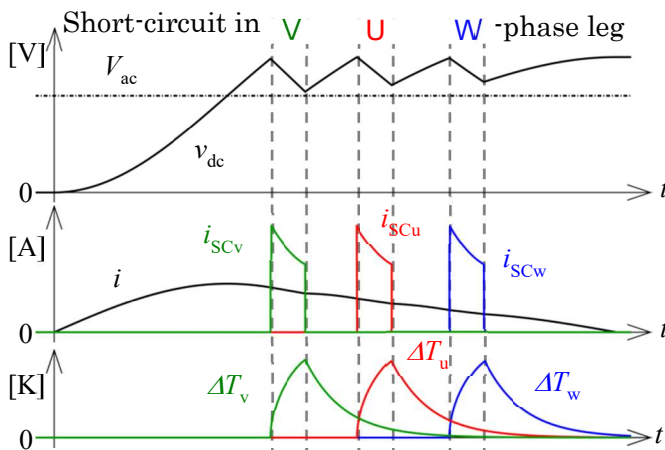


Fig. 3 各レグ 1 回ずつ短絡した場合の動作概要

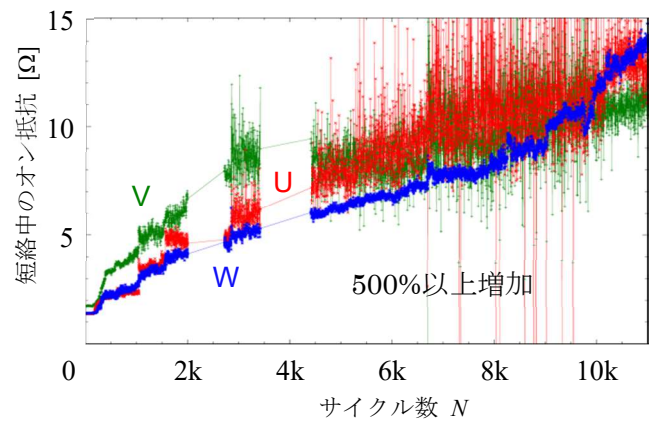


Fig. 4 各レグ 1 回ずつ短絡した場合のオン抵抗の変化

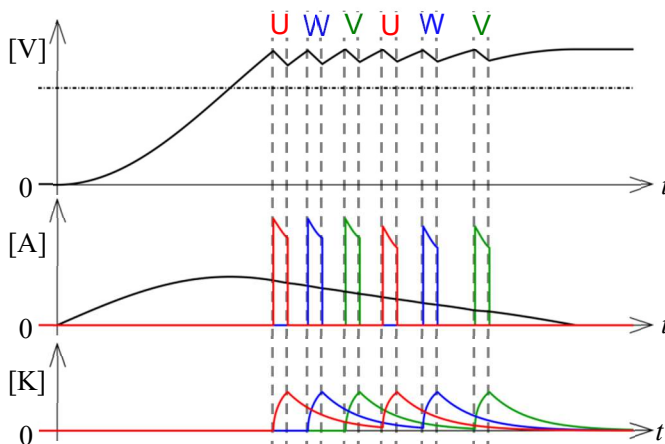


Fig. 5 各レグ複数回ずつ短絡した場合の動作概要

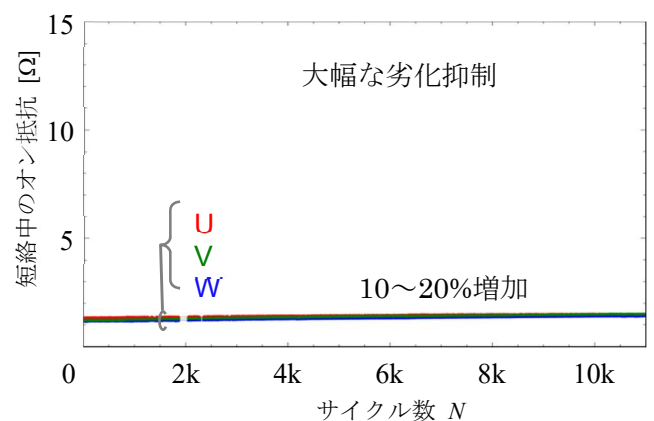


Fig. 6 各レグ 4 回ずつ短絡した場合のオン抵抗の変化

4. 今後の研究の見通し

今年度は、1 回のスタートアップに対して各相 4 回ずつの短絡を行うことにより、短絡に起因したパワーデバイスの劣化を抑制することができた。これに対して、1 スタートアップあたりの短絡回数をさらに増加させることによって、パワーデバイスの劣化を抑制し、インバータの長寿命化が期待できると考えられる。

しかし、短絡回数を増加させた場合、短絡 1 回あたりの時間とタイミングの自由度が大幅に増す。これまでは、個々のインバータの回路パラメータや動作状態に応じた細かな調整が必要であったため、自由度の増加は制御実装が困難となることを意味する。

したがって、提案手法を実用化するためには、簡便な制御実装手法について、検討が必要であると考えられる。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

学術論文(査読付)

- [1] Tomoyuki Mannen, Keiji Wada, “Reliability Evaluation of Power MOSFETs used for an Initial Charge Method Using Multiple Short-Circuits in Each Leg,” *Microelectronics Reliability*, Volumes 100-101, 113428, September 2019.

国際会議(査読付)

- [2] Tomoyuki Mannen, Hidetaka Mishima, Keiji Wada, “Peak Temperature Reduction Method of SiC-MOSFETs Employed in the Initial Charge for the DC Capacitor Using Leg Short-Circuits,” 2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia), May 2019.

国際会議(査読なし)・国内会議

- [3] 三島英崇, 萬年智介, 和田圭二: 「パワーデバイスのピーク温度抑制に着目した電力変換器のレグ短絡を用いた直流コンデンサ初期充電時の過電圧抑制法」, 平成 31 年電気学会全国大会, 4-105, 2019 年 3 月

その他(特許など)

なし