

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：57701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04121

研究課題名(和文)昇圧チョッパ付NPCインバータの超小型化に関する研究

研究課題名(英文)Study on the miniaturization of the NPC inverter with voltage booster.

研究代表者

逆瀬川 栄一 (Sakasegawa, Eiichi)

鹿児島工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号：30390503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、昇圧チョッパ付NPCインバータシステムの小型化について理論と実機検証による検討を行った。小型化のために、昇圧チョッパの出力電圧であるコンデンサ電圧リップルについて検討するため、状態平均化法を用いた解析を行った。チョッパのPWM制御方式として、補正型と交差型の2つの方式について比較を行い、理論解析とシミュレーション結果より、コンデンサ電圧リップルの観点で交差型の優位性を確認することができた。実機検証では、NPCインバータを抵抗負荷に置き換えた昇圧チョッパ回路において、インダクタ電流の比較を行い、交差型の方が補正型に比べてインダクタ電流リップルを2分の1以下に低減できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に、ハイブリッド自動車用主機モータドライブシステムには昇圧チョッパと2レベルインバータを組み合わせた回路方式が採用されているが、本研究ではそのシステムのさらなる高効率化のための一手法として、インバータをNPCインバータとし、さらにチョッパはNPCインバータに適した回路構成であるNPC昇圧チョッパの適用を提案した。昇圧チョッパのPWM制御方法として、三角波を1つ用いる補正型と位相が180度異なる二つの三角波を用いる交差型の2つの方式について比較検討を行い、交差型の方がインダクタ電流リップルを低減することができることを、理論解析、シミュレーション、および実機検証で示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we discussed the miniaturization of the NPC inverter drive system with voltage booster by theoretical analysis, simulation and experiment. The NPC inverter was replaced with two resistors to focus on the analysis of the voltage booster. For discussing the miniaturization, we analyzed the capacitor voltage ripple of the output voltage of the booster. And we compared two PWM generation methods for the purpose. One is the correction type control that uses 1 carrier and the other is cross type control that uses two carriers and their phase difference is 180 degrees. Experimental results demonstrated that the inductor current ripple of the cross type control was less than one half of that of the correction type control. The experimental results indicate the superiority of the cross type control method for the miniaturization of the system.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：昇圧チョッパ NPCインバータ 小型化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球環境問題対策のため電気自動車 (EV), プラグインハイブリッド EV (PHV) が拡大普及している。PHV のモータ駆動システムとして昇圧チョッパと 2 レベルインバータが用いられているが、電力変換効率が低いことが課題になっている。変換効率向上のためには NPC インバータが有効であるが、中性点電位 (NPP) がフローティングであるため、追加の NPP 制御が必要になる。さらに、大容量の平滑コンデンサが必要になり体積が大型化する問題がある。

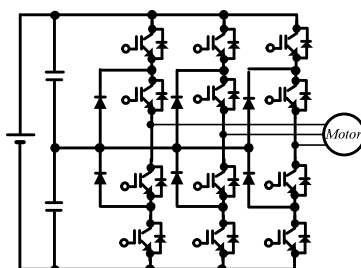


図1 NPC インバータ

### 2. 研究の目的

本研究では、NPC インバータに新方式昇圧チョッパを有した駆動システムを提案してその制御法を開発する。新方式昇圧チョッパは昇圧動作と NPP を同時に制御できる特長をもつ。提案法によりコンデンサリプル電流を最小化することで、平滑コンデンサの超小型化を実現する。本課題では、提案システムの有効性をシミュレーションと実機検証により明らかにする。

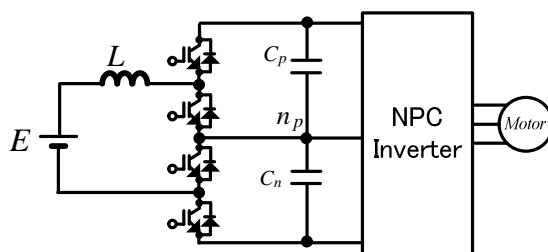


図2 昇圧チョッパ付 NPC インバータ

### 3. 研究の方法

本課題では提案するモータ駆動システムをシミュレーションおよび実機により構築し、コンデンサリプル電圧 5% を実現する新昇圧チョッパ制御法を開発する。その上で、NPP 制御法を用いてコンデンサ容量を従来比の約 1/8 に低減する昇圧チョッパの PWM パターンを開発する。従来システムのコンデンサ容量は 3900  $\mu\text{F}$  であることから、470  $\mu\text{F}$  に低減することを目標とする。

H30 年度は、理論構築とシミュレーションによる有効性確認を行う。理論構築では昇圧チョッパのスイッチングモード解析を行い、状態平均化法により昇圧比、コンデンサリプル電圧・電流の理論式を導出する。シミュレーションには PSIM を用いて、NPP 制御は昇圧チョッパのモードと NPC インバータの空間ベクトルの協調制御を行う。NPP 制御 PWM パターンを構築し、NPP 補償効果をシミュレーションにより確認する。研究遂行上で問題が生じた場合は、負荷を抵抗負荷に変更する、インバータを 2 レベルに変更する、キャリア比較法による NPP 制御など着実に遂行できるよう対処する。

H31 年度は、プロト機の製作と実機検証を遂行する。実機試験には空間ベクトル変調のソフトウェア開発を容易に行える PE-expert4(Myway-plus)を採用する。電気自動車用に要求される最高速度は 10000rpm 以上とされている。本研究ではミニモデルを製作する。モータは定格出力 1.5kW、定格速度 1500rpm、最高速度 3000rpm の IPM モータを駆動する。提案システムによりバッテリー電圧 70V を直流リンク電圧 280V まで昇圧する昇圧特性と NPP 平衡化制御特性を確認する。従来の平滑コンデンサ 3900  $\mu\text{F}$  を用いて、昇圧、NPP 制御時の各部動作波形、コンデンサリプル特性を測定、評価する。モータ負荷において、提案する NPP 制御が上手くいかなかった場合、シミュレーションと同様の対策で問題解決を図る。

H32 年度は、平滑コンデンサの容量設計と総合評価を行う。コンデンサ容量を低減し、直流リ

ンク電圧を 280V まで昇圧した際の ,NPP 制御特性とコンデンサリプル電圧,リプル電流を測定, 評価する。コンデンサリプルの補償が上手く行かなかった場合,昇圧チョッパの PWM と NPC インバータの空間ベクトルを工夫して解決する。最後に総合評価として,停止から最高速度までの連続的な可変速運転特性,電力変換効率,波形歪み,負荷特性を測定,評価する。

#### 4 . 研究成果

本研究では,昇圧チョッパ付 NPC インバータシステムの小型化について理論と実機検証による検討を行った。小型化のために,昇圧チョッパの出力電圧であるコンデンサ電圧リプルについて検討するため,状態平均化法を用いた解析を行った。チョッパの PWM 制御方式として,補正型と交差型の 2 つの方式について比較を行い,理論解析とシミュレーション結果より,コンデンサ電圧リプルの観点で交差型の優位性を確認することができた。

実機検証では,NPC インバータを抵抗負荷に置き換えた昇圧チョッパ回路(図 3)において,まず,中性点電位を制御できることを確認した(図 4)。次に,インダクタ電流の比較を行い,交差型の方が補正型に比べてインダクタ電流リプルを 2 分の 1 以下に低減できることを示した(図 5)。

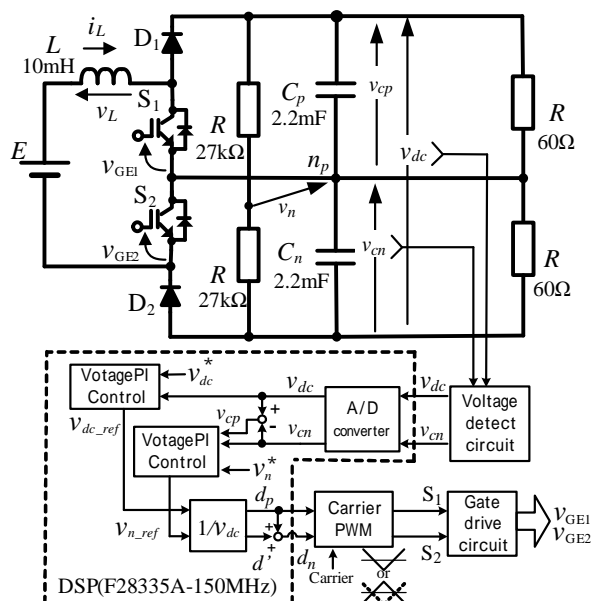


図 3. NPC インバータに適した昇圧チョッパのシステム構成(抵抗負荷)。

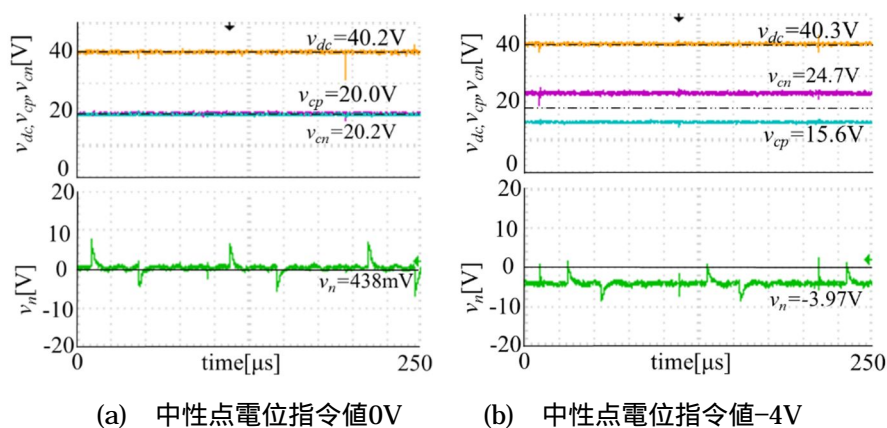
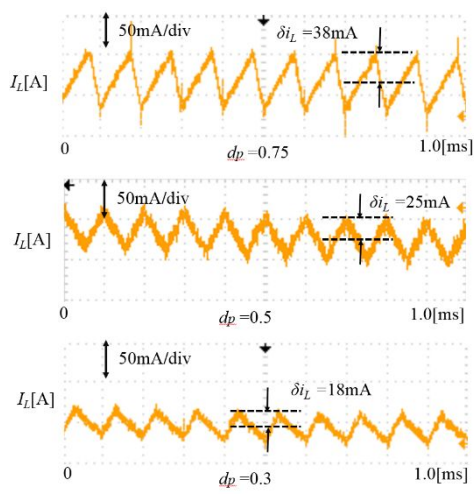
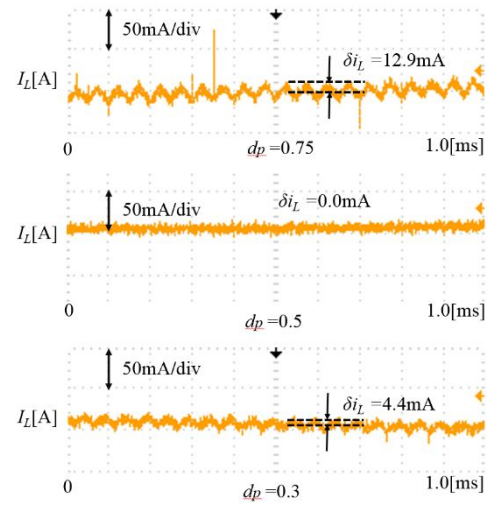


図 4 . 昇圧及び中性点電位制御の実験結果。



(a) 補正型制御



(b) 交差型制御.

図5. インダクタ電流リプルの実験結果.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 逆瀬川栄一、松元達紀、徳永海斗、芳賀仁
2. 発表標題 Control Method to Reduce Current Ripple of Boost Chopper Suitable for NPC Inverter
3. 学会等名 2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control conference -ECCE Asia (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井勝秀、逆瀬川栄一、芳賀仁
2. 発表標題 NPCインバータを想定した昇圧チョッパ回路の実機検証
3. 学会等名 平成31年度電気学会全国大会
4. 発表年 2019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
研究分担者	芳賀 仁  (Haga Hitoshi)  (10469570)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授    (13102)	実装技術, 実機試験, ディスカッション, 評価の協力

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
---------	---------