

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 8 日現在

機関番号： 15201
 研究種目： 若手研究（B）
 研究期間： 2010～2011
 課題番号： 22760211
 研究課題名（和文） 電気自動車用パワーシステムの小型軽量化に関する研究

研究課題名（英文）

A Study on Miniaturization of Power Conversion System for Electric Vehicle

研究代表者

山本 真義（YAMAMOTO MASAYOSHI）

島根大学・総合理工学部・准教授

研究者番号： 60432621

研究成果の概要（和文）：

電気自動車用電力変換器の主要基本回路である昇圧チョップ回路の小型軽量化を図るため、多相化、そしてそれに特化した全く新しい三相コアを考案し、それらの最適化設計を行った。特に、新しい三相コアにおいて巻数、ギャップ長等の基本的な設計手法はもちろんのこと、コアにおける最大出力電力算出法を提案し、その整合性を実機により確認している。新しい三相コアを適用した場合のパワー系における周波数特性も考慮した設計法を提案、実機による確認を行っている。

研究成果の概要（英文）：

This report presents a novel three phase multi-phase boost chopper circuit with coupled inductor, which can achieve high power density performance in the power conversion system for electric vehicle. The proposed circuit which bring in a novel three phase coupled inductor core by using trans-linked technique can obtain the compact light-weight performance not only the output capacitor but also the magnetic component. The proposed core can output is about 2.7 times as compared to the non-coupled inductor core in the continuous current mode drive, which is approximately equal to the total weight. The compact and light-weight characteristics and performance of proposed three phase multi-phase boost chopper circuit with coupled inductor is discussed with theoretical analysis and experimental results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学, 電力変換, 電気機器

キーワード：ハイブリッド車・電気自動車・電気機器工学・高密度実装・磁性

1. 研究開始当初の背景

国際的なハイブリッドカー（HEV）、電気自

動車（EV）の市場競争が激化しており、それらの市場拡大には1回の給油、充電による車両航続距離が重要視されている。これらの次世代型自動車には、これまでの内燃式駆動方

式には必要無かったモータ駆動用の電力変換器が新しく追加される。既存のシステムに無かった新しい機構は、燃費、居住空間、走行性能に直接影響を及ぼすことから、それらの小型軽量化が必須事項となる。

2. 研究の目的（開始当初の目的）

ハイブリッドカーの車載用電力変換器の中核を担う昇圧チョップ回路の小型軽量化を目的としている。具体的には昇圧チョップ回路を多相化し、さらに昇圧チョップ回路のエネルギー蓄積要素であるインダクタ部において各相をトランスにより結合させた形となるトランスリンク方式を提案し、その実機構築による特性評価、並びに小型軽量化性能の評価を実施する。本提案方式による小型軽量化効果は、以下の3要素に影響を与える。トランスコア、出力側キャパシタ、半導体冷却装置である。理論計算によると従来使用されている単相昇圧チョップと比較して三相化した場合のトランスリンク方式においては、トランスコアは約 1/3、出力側キャパシタは約 1/3、冷却装置は 1/2 となる。この実機による評価検証を行う。

3. 研究の方法

まずは全く新しい構造である三相トランスリンク方式用コアの構築が基本となる。PC40 相当材料を用いて三相コアを金型から形成し、コア作成を行う。次にそれらの三相コアを用いた三相トランスリンク方式昇圧チョップ回路における理論計算、それらの実機による評価の相対検証を行う。特に新しい三相コアを用いたトランスリンク方式三相昇圧チョップ回路において最大出力電力が計算通りに出力されるかどうかを、実機により確認する。

4. 研究成果

まず今回の検証対象となる三相トランスリンク方式昇圧チョップ回路の等価回路図を図1に示す。これは従来広く使用されている三相昇圧チョップを三相並列化し、さらにエネルギー蓄積要素の一つであるインダクタ部を各相結合させることでトランス化している構造となっている。昇圧チョップとしての動作は、トランス部の漏れインダクタ成分が担うことになる。

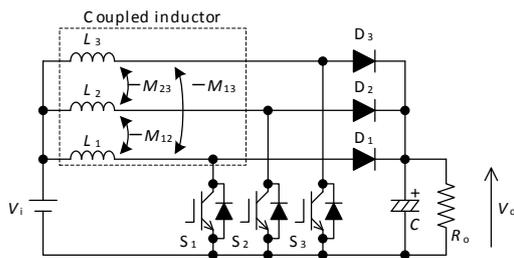


図1 三相トランスリンク方式昇圧チョップ

この三相トランスリンク方式におけるコア構造は図2の様な構造となる。これは各巻線間のトランス成分と、各巻線におけるインダクタ成分のそれぞれを具現化するため、基本を4脚鉄心とし、3つの脚にそれぞれの各相巻線を巻き、残り1脚にギャップを設けることで各巻線に対する漏れインダクタ成分としている。各相巻線における磁路長を統一するため、ギャップを持たせる脚は中央部に位置させ、残りの脚を均等に配分する構造になっている。

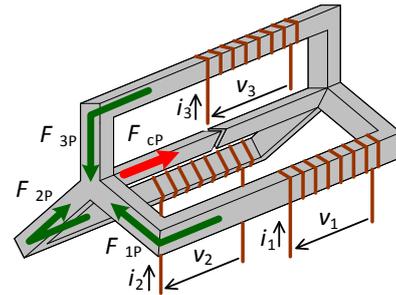


図2 提案する三相トランスリンク方式コア

このコア構造に対してフェライト(PC40相当)を使用した場合における寸歩の最適化設計を行い、金型設計を行った。まず三相トランスリンク方式昇圧チョップのデューティ比に対する各脚に流入する磁束を計算し、詳細な解析を行った。デューティに対する磁束の比の理論計算結果を図3に示す。

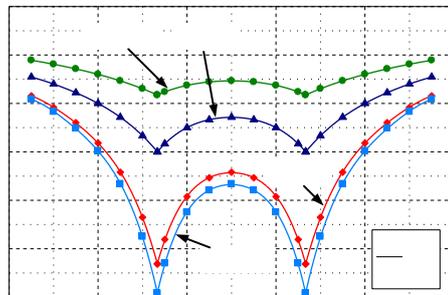


図3 デューティに対する各相脚部磁束

ここで α は中央脚のギャップ長による磁気抵抗比を示しており、小さくなるほどギャップ長が大きくなることを示す。電気自動車において使用するデューティ比から最大磁束をこのデータより読み取り、三相コアにおける金型設計を行った。

図4に金型設計により作成した三相トランスリンク用コアの外観図を示す。図2に示したものとほぼ同じ構造を実現しており、中央脚部にはギャップを設けている。この新しい三相トランスリンク用コアにおける最大磁束密度を詳細に解析することにより、このコ



図4 三相トランスリンク用コアの外観

アが出力可能な最大電力を理論的に導出することが可能である。その導出式を下記に示す。

$$P_{Lnc} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_{max}^2 \cdot V_c}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot f \cdot N^2} \cdot \frac{1}{I_{1PP}/I_1}$$

各デューティ比に対する各脚部に流入する最大磁束から、最大出力電力 P_{Lnc} を導出可能であることを示している。

この解析結果を使用することで、インダクタ電流の平均値に対するリップル値の比に対する最大電力の計算結果を図5に示す。

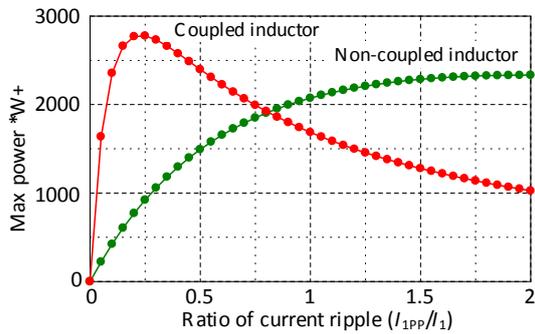


図5 従来三相方式と三相トランスリンク方式による最大電力比較図

図5では横軸が2の場合が臨界モードでの動作を示しており、それよりも小さい場合においては連続モード動作での最大電力点を示している。この図より、通常の電気自動車用昇圧チョッパで使用されるモードは連続モードであり、その条件下において最大電力は三相トランスリンク方式の方が従来の三相並列方式よりも大きいことを示している。具体的な従来コアとの相対比較を図6で行っている。この図では右側の3つが従来の三相並列方式のコアであり、左側の1つのコアが三相トランスリンク用コアである。従来の三相並列方式用コアは、各相にインダクタを持つことから三相の場合はこの図の通り3つ必要になる。しかしながら、提案する三相ト



Proposed core	Conventional core (PC40EC70)
Weight: 690g	Total weight: 760g
Max power: 2731.8W	Max power: 1058.3W

図6 各方式におけるコア比較

ンスリンク方式では、1つのコアで具現化可能となる。また、先の最大電力算出法を用いることで上記のコアについて解析を行った場合、右側の従来三相方式のコアを使用した場合の最大電力は1kW程度であるが、提案する三相トランスリンク方式では、コア重量はほぼ同等であるにも関わらず3kWの出力が可能となっており、従来と比較して3倍の出力が可能となる。これは同じ出力条件下においては、1/3以下のコア重量を具現化できることを示している。

実際に理論計算による最大電力と実機における最大電力との比較結果を図7に示す。これにより、理論と実際の最大電力がほぼ一致していることが分かる。この最大電力ライン上での各部動作波形を図8に示す。これよりインダクタ電流が飽和することなく理論通り動作していることが確認できる。

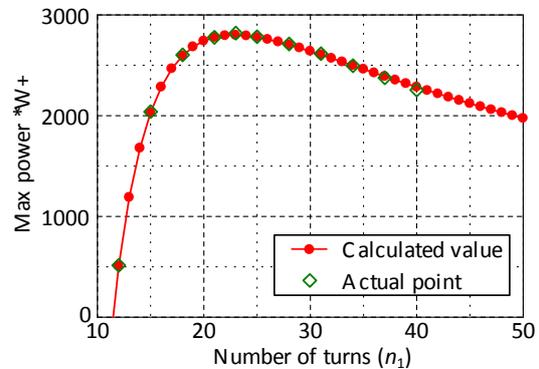


図7 最大電力算出法（理論と実機の比較）

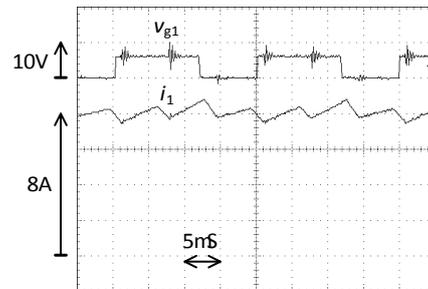


図8 各部動作波形(上側：スイッチ波形, 下側：インダクタ電流波形)

この様に、本研究では電気自動車用電力変換器におけるインダクタコア部について特に解析を行い、それらの詳細な理論計算、並びに実機動作確認を行うことで、コア部を1/3 にすることが可能な小型軽量化性能を理論と実機により示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①Jun Imaoka, Yuki Ishikura, Takahiro Kawashima and Masayoshi Yamamoto “Optimal Design Method for Interleaved Single-phase PFC Converter with Coupled Inductor”, IEEE Energy Conversion Congress & Expo (ECCE), 査読有, CD-ROM, 2011, 1807-18-12
- ②Masayuki Nakahama, Masayoshi Yamamoto and Yuki Satake, ” Trans-linked Multi-phase Boost Converter for ElectricVehicle”, IEEE Energy Conversion Congress & Expo (ECCE), 査読有, CD-ROM, 2010, pp. 2458-2463

[学会発表] (計3件)

- ①今岡淳, 川島崇宏, 山本真義, 「高電力密度昇圧コンバータにおける密結合インダクタ方式と結合インダクタ方式の特性比較」, 平成23年度電気学会産業応用部門大会, 2011年8月23日, 琉球大学(沖縄県)
- ②中村祐太, 山本真義, 「トランスリンク形マルチフェーズ昇圧チョッパ回路制御系における最適化設計法の実証的評価」, 平成23年電気学会全国大会, 2011年3月16日, 大阪大学(大阪府)
- ③中村祐太, 山本真義, 「マルチフェーズ方式トランスリンク形昇圧チョッパ回路の周波数特性解析」, 平成22年度電気学会産業応用部門大会, 2010年8月23日, 芝浦工業大学(東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 真義 (YAMAMOTO MASAYOSHI)
島根大学・総合理工学部・准教授
研究者番号： 60432621

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：