

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820103

研究課題名(和文) DCリンクを持たない電磁誘導方式非接触給電用高効率AC-DC電力変換器の開発

研究課題名(英文) Development of Non-Smoothed DC-link based AC-DC Power Conversion System for Inductive Power Transfer

研究代表者

三島 智和 (Mishima, Tomokazu)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40370019

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)：電磁誘導方式非接触給電システム(IPT)への応用を目的に、平滑DCリンクを介さない非平滑DCリンク方式商用周波(UF)AC-DC電力変換システムを考案した。前段部として、3kWのシングルステージ商用周波AC-高周波ACコンバータを開発し、非平滑DCリンクの効果などにより先行回路から2%以上の効率改善を達成し、95%以上の最高効率の実現を得た。後段部として、2.5kWの直列共振方式非接触DC-DCコンバータを開発し、5mmの空隙において最高95%の電力変換効率を得た。

以上により、システム全体として、90%近い高効率電力変換の実現が期待できることを実証した。

研究成果の概要(英文)：This research has dealt with a high-efficiency power conversion circuits suitable for inductive power transfer (IPT) without a bulky smoothing dc-link filter. In the first stage of the research, the new type of utility frequency (UF)- high frequency (HF) ac-ac power converter with voltage boost and power factor correction (PFC) has been developed, and evaluated in experiment. The high-efficiency over 95% has been demonstrated in the 3kW prototype circuit due to the smoothing dc-link capacitor-less circuit topology.

The second stage of the research has been dedicated for development and evaluation of HFAC (DC)-DC power converter in contact-less power process for IPT. The high-efficiency power conversion over 95% has been attained in the 2.5kW IPT prototype due to the series-series resonant circuit configuration.

The total power conversion efficiency can be expected about 90% by utilizing the newly-developed two power converters applicable for IPT.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：非接触給電 パワーコンバータ 共振形電力変換 電解コンデンサレス 高効率電力変換 電磁誘導

1. 研究開始当初の背景

商用周波数(UFAC)を電源とする非接触給電装置は、ダイオード整流回路および力率改善(PFC)コンバータの2段構成を前段に持ち、平滑直流リンクを介した高周波(HFAC)リンク電力変換を行った後に、直流または商用周波交流へと変換する多段方式が一般的である。この多段電力変換では、回路導通損失の増大と受動部品の容量増加、特に直流平滑キャパシタの大容量化とメンテナンス性が問題となる。即ち、電力変換器の高電力密度化を阻害する要因として、技術課題である。

2. 研究の目的

(1) 上述の技術課題への解決策として、電源UFACからHFACまで1段(シングルステージ)にて直接電力変換が可能な回路トポロジーを考案し、電力損失の低減と同時に回路構成の単純化を図る。

(2) 電力変換効率の高効率化とともに、PFC動作も達成して、電源電流の品質改善も得る。

(3) 回路トポロジーとして、当初双方向スイッチの利用を想定していたが、実用性に難点があり、また電源電圧の昇圧とPFC動作が実現不可能であることが予測される。ゆえに、本研究課題では、双方スイッチを用いないシングルステージ回路を検討する。

3. 研究の方法

(1) 検討する電力変換システムにおいて、UFAC-HFAC 高周波変換部と HFAC-DC または中間段 DC-DC 変換部を分離して詳細に評価する。これより、詳細な回路動作原理を解析するとともに、各部の電力損失分析などを実施する。

(2) UFAC-HFAC については、負荷として誘導性をもつ誘導加熱負荷(磁性ステンレス)を利用する。ここで、負荷熱量を出力端エネルギーとせず、UFAC-HFAC までの電力変換プロセスに対応する電気エネルギー/電気エネルギー変換を評価する。

(3) HFAC または中間段 DC-DC 出力までは、電子負荷を利用し電力変換効率など実特性を評価する。

4. 研究成果

(1) 本課題で提案する非平滑 DC リンク方式シングルステージゼロ電圧スイッチング UFAC-HDAC コンバータの回路構成を図1に示す。非平滑 DC リンク方式のため、大容量平滑 DC リンクキャパシタが不要であり、フルブリッジ整流回路を持たず、電源昇圧かつ PFC 動作を実現する。

(2) 図1の回路方式に対して、出力 3kW、動作周波数 30kHz の試作器による実測動作波形を図2に示す。非平滑 DC リンクによるシングルステージ電力変換動作とともに、電源電流 PFC 動作および昇圧動作を実証されている。なお、パワー半導体スイッチのゼロ電圧ソフトスイッチング(ZVS)動作についても実測より確認している。

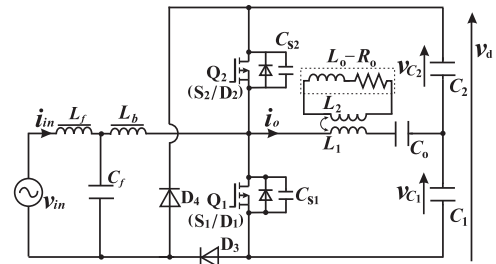


図1. シングルステージ UFAC-HFAC コンバータ 1 (ブリッジレス BHB 方式)

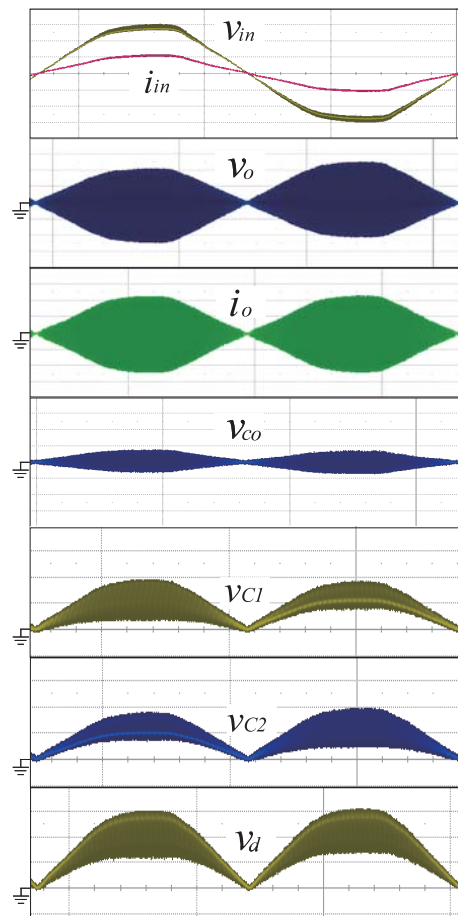


図3. 実測波形 (図1の回路方式)

(3) 本試作器の電力変換効率(商用電源入力から高周波出力までの実測効率)を図3に表す。従来の2段式回路方式(図中、DBR-BHB)と対比して、2%以上の効率改善を得ている。出力 2kW にて、95.2%の最高効率を達成している。以上から、提案するシングルステージ電力変換回路の高効率特性が実証される。

(4) 図1の回路の発展として、より高出力電圧を得る条件で効果的となる図4の3レベルインバータ方式回路も提示する。本回路については、回路シミュレーション解析により、図1の回路と同様に非平滑 DC リンクに基づくシングルステージ電力変換などの

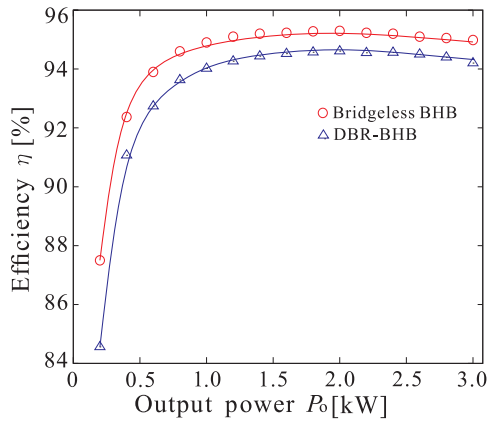


図 3. 電力変換効率比較

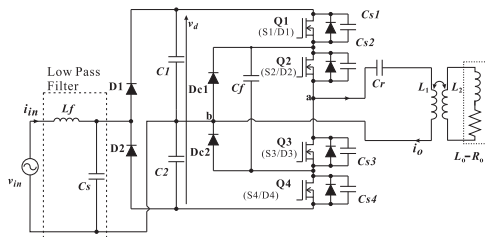


図 4. シングルステージ UFAC-HFAC コンバータ (3 レベル)

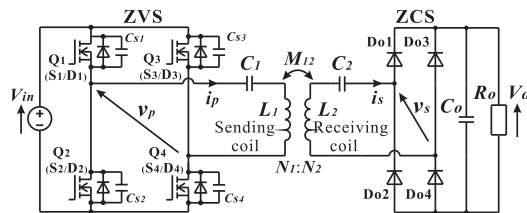


図 5. 非接触給電用共振 DC-DC コンバータ

優れた特性を確認している。

(5) 中間段から出力段までの電力変換回路として、図 5 の 1 次側/2 次側直列補償 (SS 方) 非接触給電 ZVS DC-DC コンバータを、2.5kW 定格の試作器を基に実証評価する。図 6 に電磁誘導方式非接触給電実験システムの外観を表す。ここでは、送受電コイルとして、高周波リッツ線によるパンケーキ形コイルを適用する。

(6) 図 7 に、非接触給電試作回路の実測効率特性を示す。送受電コイル間のギャップ長 (空隙)  $g=50$  [mm] としている。これより、広範な領域にて、94% 以上の変換効率が達成されることが分かる。ゆえに、負荷直列共振である図 1 の回路の後続部として、SS 方式 IPT 変換器は有効であることが明らかとなる。

(7) 商用電源から、DC 出力までの UFAC-DC 変換回路の総合的な効率評価は、今後の検討課題として残るが、本研究課題の主題である DC リンク (完全平滑) を介さない非平滑 DC リンクに基づく UFAC-HFAC 変換は実証された

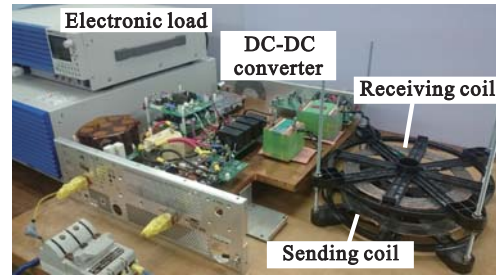


図 6. 非接触給電実験システム外観

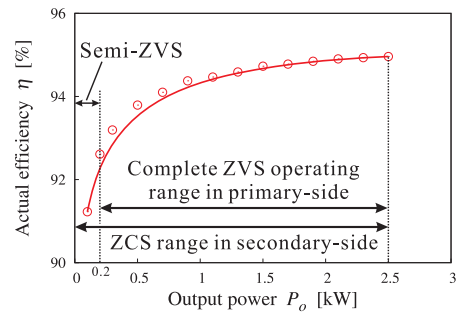


図 7. 実測効率特性

結果となる。以上の研究成果から、主題である非平滑 DC リンク方式電力変換システムの有効性は示され、所望の成果が得られたことが実証された。

## 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)

- ① Tomokazu Mishima, Yuki Nakagawa, and Mutsuo Nakaoka, “A Bridgeless BHB ZVS-PWM AC-AC Converter for High-Frequency Induction Heating Applications,” IEEE Transaction on Industry Applications (peer review), officially accepted and in press, Jul./Aug. 2015.
- ② 三島智和・中川雄貴・中岡睦雄, 高周波誘導加熱用ブリッジレス BHB ZVS-PWM 周波数変換器, 査読有, 電気学会論文誌産業応用部門誌, Vol.135, No.1, pp.39-48, 2015 年 1 月

[学会発表] (計 10 件)

- ① 森田栄太郎・三島智和・中岡睦雄：「電磁誘導方式非接触給電用共振形フルブリッジ DC-DC コンバータの定常特性解析」, パワーエレクトロニクス学会第 207 回定例研究会, 2015 年 4 月
- ② Tomokazu Mishima, Yuki Nakagawa, and Mutsuo Nakaoka, “A Bridgeless BHB ZVS-PWM AC-AC Converter for High-Frequency Induction Heating Applications and Non-Smoothed DC-Link Characteristics,” Proc. 30<sup>th</sup> IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), peer review, pp.1700-1706, Mar. 2015.
- ③ Tomokazu Mishima, Yuki Nakagawa, and Mutsuo Nakaoka, “A Novel Bridgeless Boost Half-Bridge ZVS-PWM Single-Stage Utility Frequency AC – High Frequency AC Converter for Domestic Induction Heaters,” Proc. 2014 International Power Electronics Conference (IPEC) – ECCE Asia, peer, review, pp.2533-2540, May 2014.
- ④ 三島智和・森永崇太・中岡睦雄：「高周波誘導加熱用シングルステージ ZVS-PWM 3 レベル AC-AC コンバータ」, 27 年電気学会全国大会, 2015 年 3 月
- ⑤ 中川雄貴・三島智和・中岡睦雄：「高周波誘導加熱用シングルステージ ZVS-PWM AC-AC コンバータ-非平滑 DC リンク特性を考慮した回路設計と評価-」, 電気学会半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, 2015 年 1 月
- ⑥ 中川雄貴・三島智和・中岡睦雄：「高周波誘導加熱用ブリッジレス BHB 周波数変換器における非平滑 DC リンク特性の検証」, パワーエレクトロニクス学会第 205 回定例研究会, 2014 年 10 月
- ⑦ 中川雄貴・三島智和・中岡睦雄：「誘導加熱用ブリッジレス BHB ZVS-PWM 複合共振形 AC-AC コンバータの実験特性」, 26 年度電気学会産業応用部門大会, 2014 年 8 月
- ⑧ 三島智和・中川雄貴・中岡睦雄：「誘導加熱用ブリッジレス BHB ZVSPWM 高周波共振形 AC-AC コンバータ」, 電

気学会半導体電力変換/モータドライブ合同研究会資料, SPC-14-41/MD-14-41, 2014 年 1 月

- ⑨ 中川雄貴・三島智和・中岡睦雄：「ブリッジレス B-HB 直列共振形インバータと動作原理」, 25 年度電気学会関西連合大会, 2013 年 11 月
- ⑩ 中川雄貴・三島智和・中岡睦雄：「昇圧レギュレーション機能をもつ誘導加熱用単相商用周波 AC-高周波 AC コンバータの動作特性」, 25 年度電気学会産業応用部門大会, 2013 年 8 月

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等  
 該当無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三島 智和 (MISHIMA, Tomokazu)  
 神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授  
 研究者番号：40370019

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：  
 該当無し

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：  
 該当無し