

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01428

研究課題名(和文) シングルステージ交流変換SSTを導入した高電力密度三相AC-DC変換器の開発

研究課題名(英文) Development of high-power density three-phase ac-dc converter based on single-stage ac frequency conversion solid stage transformer

研究代表者

三島 智和 (Mishima, Tomokazu)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号：40370019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：単相AC-DCコンバータのシングルステージ化について検討した。従来の技術での技術課題に対する解決策として、フルブリッジインバータを基準として、直流非平滑キャパシタにて電源の倍周波を吸収しながら、平滑直流成分のみ高周波トランス整流器を介して直流負荷へ伝送する原理に基づく単相回路トポロジーを新たに検討した。入力電流は連続モード(CCM)にて動作する。動作原理とシングルステージ変換、電源電流の力率改善効果について、シミュレーションにより評価を行い、60Hzの商用電源から50kHzの高周波交流を1段にて生成する原理、高調波の低減と国際規のクリア、および負荷電圧制御ループの有用性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気電子機器の心臓部と言える電源の低損失化や低ノイズ化など高性能化は、カーボンニュートラル実現の観点から極めて重要な技術課題である。補研究課題は、商用交流電源にインターフェースする電力変換器として、省部品化や平滑フィルタの小型軽量化などを実現するための新しい技術である。構造的特徴を生かし、小容量から大容量まで幅広く適用出来る電源回路であり、産業界にとどまらず広く社会の省エネルギーの促進に資する技術である。

研究成果の概要(英文)：The research subject deals with a single-stage high frequency-link single-phase ac-dc converter. Based on the three-phase topologies that was developed in the former steps of research period, the boost ac chopper and full-bridge inverter integrated ac-dc converter is explored for a single-phase utility frequency to high frequency converter, featuring the single-stage power conversion via the non-smoothed dc-link and high frequency transformer as well as the power factor correction in continuous conduction mode (CCM) in the ac line current. Effectiveness of the single-phase ac-dc converter is investigated by simulation analysis, whereby the 60Hz-50kHz ac power conversion is confirmed under the principle of single-stage operation and PFC in CCM attains with accommodation for the world-wide standard. The experimental verification will be a future work of the subject.

研究分野：電力工学

キーワード：パワーエレクトロニクス 単相AC-DC変換 シングルステージ変換 力率改善

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

風力発電や鉄道、データセンターにおいて普及する直流母線への給電として、高周波トランスを利用し商用周波数交流・直流・高周波／高周波・直流という複数段変換を伴う既存技術がある。この方式によると、直流リンクにて大容量コンデンサが不可欠であり、高周波トランス 1 次巻線までの電力変換段数が複数となるなど、部品数増とそれの伴うコストアップおよび電力損失の増加が問題視されている。

2. 研究の目的

上述の技術課題に対して、本課題では整流器と高周波インバータを 1 つに統合したシングルステージ三相 AC-DC コンバータを開発することを目的とする。三相電源に対して各相で電力変換を行い、低周波脈動を低周波側でキャンセルさせることで入力から出力まで大容量キャパシタなし(e-cap レス)にて低リップルの直流を出力することを目的とする。さらに、電源電圧を検出することなく、電源電流の高調波を抑制し、力率を改善することをねらう。加えて、パワー半導体スイッチのソフト転流(ソフトスイッチング)を実現し、低損失の低減を図ることを狙う。

3. 研究の方法

まず、回路方式として新たに図 1 の回路方式を提案し、その基本動作を回路シミュレーションにより評価した。シングルステージ変換にて 1 側高周波トランス電流を生成し、2 次側では高周波整流器により三相各相からの出力電圧を合成する。ここで、三相各相の  $120^\circ$  の位相は完全に相殺されることから、1 次側の商用周波交流は脈動波形のまま電力変換が可能となる。ゆえに 1 次側スイッチオン時比率は固定にし、電源と非同期で高周波スイッチング動作ができる。専用の回路シミュレータによる計算結果から、シングルステージ変換や高周波スイッチング動作などを達成することを確認した。続いて 2 kW-50kHz の実験装置を試作し、その実験評価から以下の特性を事項に述べると結果を得た。

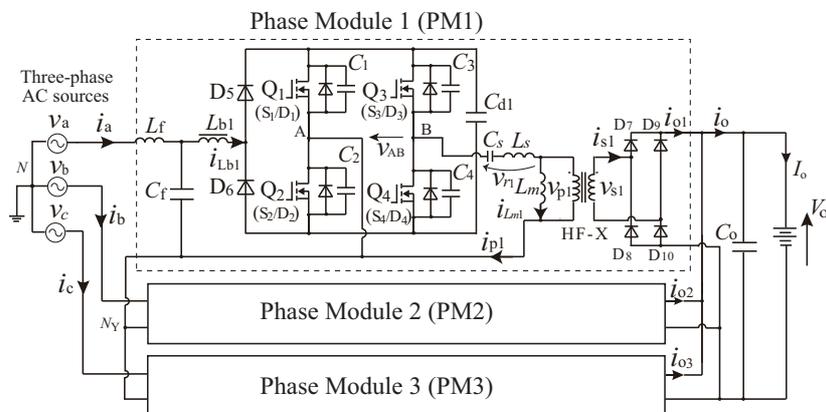


図 1. 主回路構成

4. 研究成果

試作器の外観を図 2 に示す。実験装置の都合上、出力は 2kW に設定し、スイッチング周波数は 50kHz を基本周波とする。試作器の実験により以下点を明らかにした。

- $120^\circ$  位相差を保ち、電源 2 倍の脈流を含んだ高周波整流器電流  $io1$ ,  $io2$ ,  $io3$  の合成により直流出力  $I_o$  を生成 (図 3)
- 三相交流 60Hz から脈動リンク段階を経て 50kHz を 1 段にて生成 (図 4)
- PFC 動作により三相電源電流の高調波は 2.45%以下と低歪みとなり、国際規格 IEC-61000-3-2 をクリア (図 5)
- 大容量キャパシタを用いず脈動に少ない直流電圧を生成 (図 6)
- パワー半導体スイッチは、福共振 LLC の作用によりゼロ電圧ソフトスイッチング(ZVS)を達成 (図 7)
- リチウムイオンバッテリーの充電動作に適した定電流・定電圧(CCCV)出力モードを、位相シ

- フト PWM またはパルス周波数変調により実現(図8).
- ▶ 定格 2 kWにて実測電力変換効率 91.5%を達成 (図9), また損失分析を明確化 (図9)

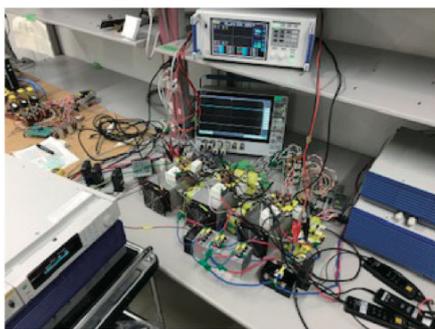


図2. 試作器外観

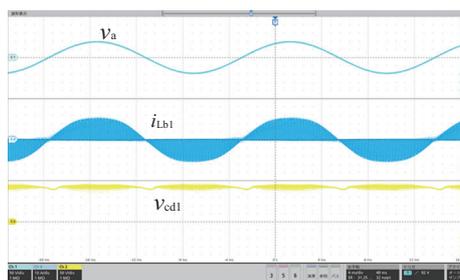


図4. 力率改善波形

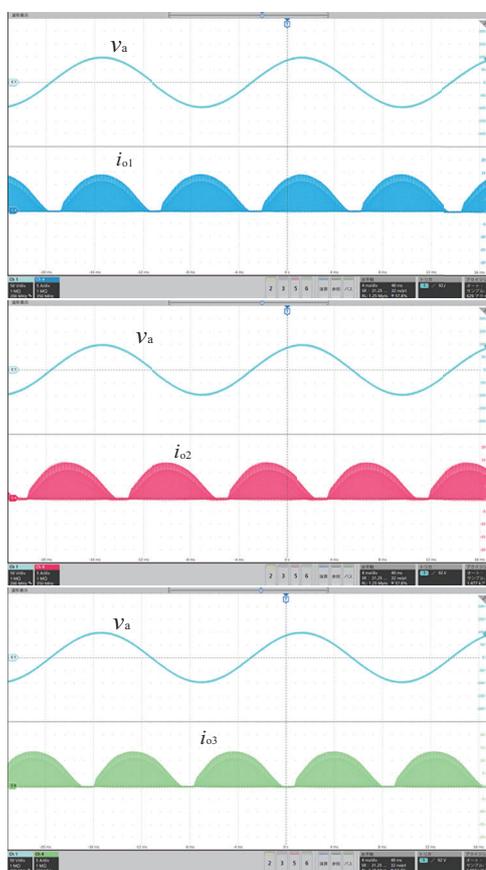


図3. 高周波整流器電流

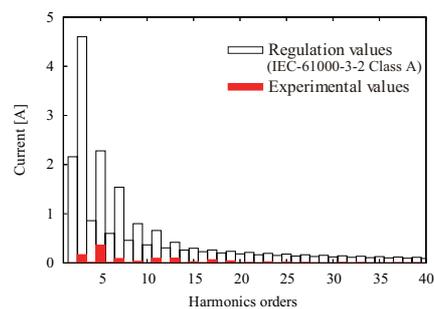


図5. 高調波解析

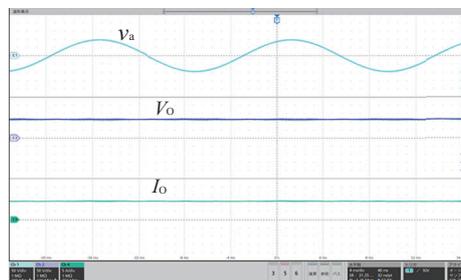


図6. 直流出力電圧

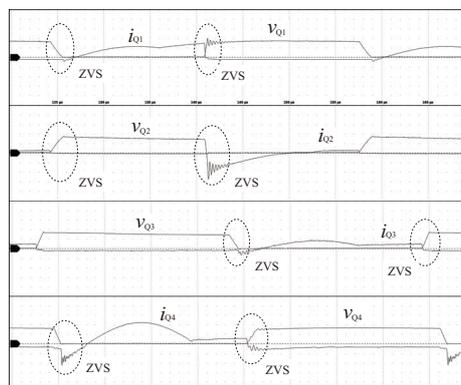


図7. スイッチング波形

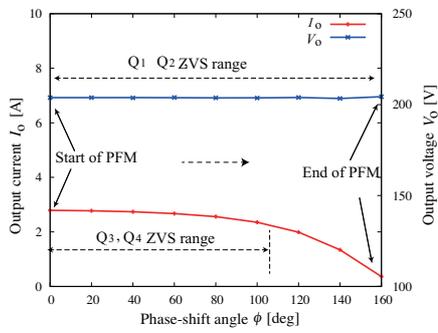
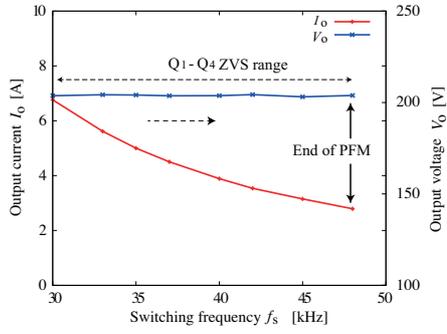
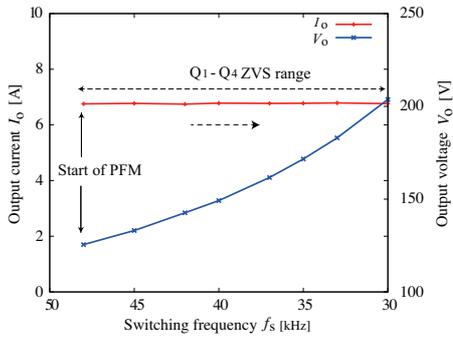


図 8. CCCV 出力モード特性

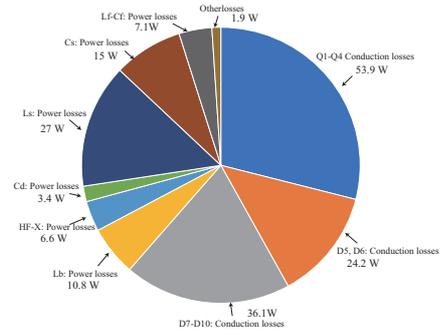
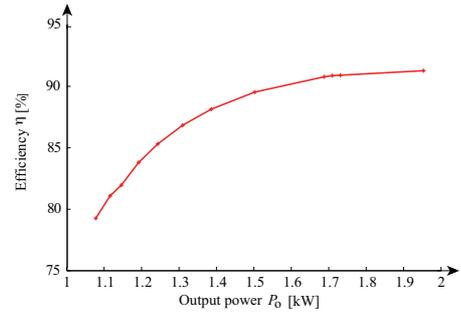


図 9. 電力変換効率/損失分析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomokazu Mishima and Shoya Mitsui	4. 巻 1
2. 論文標題 A Single-Stage High Frequency-link Modular Three-Phase Soft-Switching AC-DC Converter for EV Battery Charger	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	6. 最初と最後の頁 2141-2147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ECCE.2019.8913110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shoya Mitsui and Tomokazu Mishima	4. 巻 1
2. 論文標題 Novel Single-Stage Boost Full Bridge Phase Modular Soft Switching Three-Phase AC-DC Converter with High Frequency-Link	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE Power Electronics and Drive Systems (PEDS2019)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三井翔也・三島智和
2. 発表標題 シングルステージ高周波変換Phase-Modular 三相LLC AC-DCコンバータの出力制御手法に関する検討
3. 学会等名 電気学会・半導体電力変換 / モータードライブ合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三井翔也・三島智和
2. 発表標題 シングルステージ周波数変換方式Phase-Modular三相複合共振AC-DC コンバータ
3. 学会等名 電子情報通信学会・電子通信エネルギー技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三井翔也, 三島智和
2. 発表標題 シングルステージ周波数変換Phase-Modular方式三相AC-DCコンバータの基礎検討
3. 学会等名 平成30年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三井翔也, 三島智和
2. 発表標題 シングルステージ周波数変換Phase-Modular方式三相AC-DCコンバータの実機検証
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoya Mitsui and Tomokazu Mishima
2. 発表標題 Novel Single-Stage Boost Full Bridge Phase Modular Soft Switching Three-Phase AC-DC Converter with High Frequency-Link
3. 学会等名 Proc. 13rd IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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