

平成 2 6 年 6 月 2 日現在

機関番号 : 2 4 2 0 1

研究種目 : 基盤研究(C)

研究期間 : 2011 ~ 2013

課題番号 : 2 3 5 6 0 3 3 3

研究課題名 (和文) 出力容量が異なる単位変換器を複数並列接続した電力変換装置の構築と制御法の研究

研究課題名 (英文) Research of construction and control method of power converter that plurals and parallel connects power inverter with different output capacity

研究代表者

稲葉 博美 (INABA, hiromi)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号 : 1 0 5 1 2 7 3 3

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,900,000 円、(間接経費) 1,170,000 円

研究成果の概要 (和文) : 小容量の家電製品から大容量の鉄道車両まで、色々な分野で電力変換器 (交流 直流) が用いられている。この電力変換装置において、大容量化と標準化を図るための電力変換装置の構築法と制御法を本科学研究において確立した。具体的には、次の3点である。

(1) 異なる出力分担で運転する並列多重電力変換器の電流分担に関する制約条件を明らかにした。(2) 電力変換器の間を流れて出力に寄与しない横流を削減する和差制御の有効性を従来の個別制御との比較において確認した。(3) 和差制御は横流抑制に有効である。しかし、並列接続された電力変換器の出力を束ねる結合リアクトルの容量削減には限界があることを見いだした。

研究成果の概要 (英文) : The power converters are used in various fields such as from a home appliance of small capacity to large capacity railway vehicles. In this power converter, the construction and the control method of the power converter to attempt making to a large capacity and standardization were established in this research. They are the following points.

(1) The limiting condition concerning the current allotment of the parallel, multiple electric power converter driven in a different sharing of output was clarified. (2) The effectiveness of the summation and difference current control method that reduced cross current that flowed between the power converters and did not contribute to the output was confirmed in comparing it with a conventional individual control method. (3) The summation and difference current control method is effective for the reduction of cross current. But the limit was found in the capacity reduction of the combination reactor that added the outputs of the power converters.

研究分野 : 工学

科研費の分科・細目 : 電気電子工学

キーワード : パワーエレクトロニクス 電力変換装置 並列多重 横流 結合リアクトル

1. 研究開始当初の背景

電力変換装置の構築に関して以下のような社会背景があった。

(1) 制御対象の駆動に必要な容量に見あった出力を発生出来る電力変換装置を案件ごとに設計する手間が必要であった。

(2) 大容量の出力を得るためにはデバイスの直接並列接続法があるが、電流均等化のため空間対称配置が必要となり実装上の限界が存在し、ある容量以上のシステムでは並列多重化が必須であった。

(3) 並列多重システムでは単位電力変換器の出力を束ねるための結合リアクトルが必要であり、この単位電力変換器間を環流する横流を抑制するため、大容量の結合リアクトルが必要であった。

(4) 並列多重化するための単位電力変換器は同容量のものを組み合わせるのが一般的であり、標準化と限界設計のためには異容量構成に関して研究の余地があった。

2. 研究の目的

(1) 横流抑制制御技術の革新により、結合リアクトルを小型化して、結合リアクトルの占有空間と銅損を削減し、もって、極限化電力変換装置を構築すること。

(2) 単位電力変換器の出力を同一値ではなく、異出力の組み合わせとして、並列多重時の組み合わせ自由度を向上させシステム構築に要する時間を最小化すること。

3. 研究の方法

(1) 実際の回路との等価性がすでに確認されている汎用回路シミュレータソフト(PSIM)上に主回路と提案する制御則を構築し計算機によって電力変換器間を無駄に環流し、出力に寄与しない横流成分が削減可能かを検証する。

(2) 汎用回路シミュレーションではスイッチ素子がオンオフ際には理想スイッチとして動作するため、現実との差違が大きめに(横流が大きく出る方向に計算される)生じる。そこで、小電流規模の縮小機ではあるが、実際に複数台の電力変換器を試作し、これを用いてシミュレーション検討結果の妥当性をミニモデルで実験検証する。

4. 研究成果

(1) 異出力時の電流分担限界の把握

異出力時の電流分担限界に関して汎用回路シミュレータ PSIM を用いて評価し、その目安が 1:4 程度であることを知った。なお、PSIM では電力変換器を構成するスイッチ素子はオンオフの遅れの無い理想スイッチとして動作するので、横流に関しては現実よりも厳しめ(多め)に評価されている。

図 1 に PSIM を用いたシミュレーションの全体構成を示す。ここでは 2 台の出力の異なるインバータ出力を結合リアクトルで結合し、各電力変換器の出力電流と横流を評価し

た。

図 2 に図 1 の主回路と提案する和差制御を用いて 2 台 INV の異出力状態とした時の各出力電流、負荷電流、横流を磁石モータに台形状の速度指令を与えた際の波形を示す。各インバータが設定した電流分担を担っていることと、横流が小さく制御されていることが確認できた。

図 3 に 2 台の電力変換器の出力電流の分担比率をパラメータとして変化させ、横流の限界目安をまとめた。この結果から、異出力の分担比は 1:4 くらいが目安となることが明らかとなった。

(2) 従来の個別制御に対し、提案した和差制御の優位性の確認

従来の個別制御と提案の和差制御に関して、複数台のインバータの各直流電源に差違があった時に生じる横流についてシミュレーションした結果を図 4 に示す。図中で Fig.1 の手法が個別制御であり、Fig2 の手法が提案の和差制御による横流(Cross current)抑制のシミュレーション結果である。和差制御の大きな横流抑制効果が確認できた。

電力変換器はパルス幅(PWM)制御によって電流の可変制御を行うが、このパルス幅制御を行う際の搬送波が完全に同期している(ズレがない)時には電力変換器に瞬時瞬時の電圧差がないので横流発生の要因がないが、これに差があると横流発生の原因となる。これはマイコンによって PWM 信号を作成する際の搬送波の同期ずれによって生じる。図 5 には 2 台の電力変換器の搬送波のズレ量をパラメータにして、横流をシミュレーションした結果である。ここでも Fig.3 の手法(従来の個別制御)よりも Fig4 の手法(提案の和差制御)の方が横流抑制性能が優れていることが確認できた。

(3) 小さすぎる結合リアクトル設定に関する問題点の存在

従来の各電力変換器の出力電流をそれぞれ独立に制御し、結果として横流を受動的に制御する個別制御方式よりも、負荷に給電する出力電流(和電流)と本来ゼロであるべき横流(変換器間を環流する差電流)をそれぞれ制御する和差制御の方が、横流抑制の点で優れていることを実機試験でも確認した。(図 6、図 7 参照)

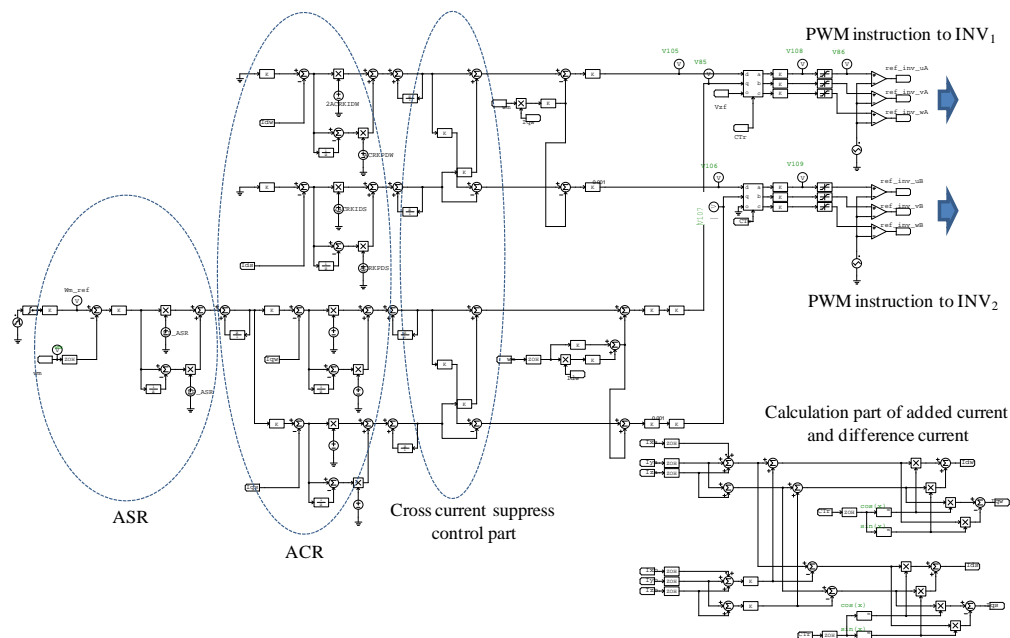
しかし、この和差制御を強めれば、横流は比例して極限まで小さくできるか?ということに関して、結合リアクトルの設定値を非常に小さく設定し、和差制御の強さをパラメータとして横流抑制の効果を実測した結果を図 8 に示す。横流抑制に有効な和差制御においても結合リアクトルの削減には限界のあることを本研究の検討過程で知った。

(4) 試作したミニモデル装置を含めた並列多重試験装置の外観写真

3 台の電力変換器、それぞれの制御器、電力変換器をパルス幅制御するための PWM パルス分配器、3 相分の結合リアクトルなどは

試作し、電力変換器の負荷としては市販の磁石モータを実機試験に用いた。また横流や出力電流を検出するため科研費にて購入した

電流検出器と波形観測用オシロスコープもあわせて図 9 に示す。



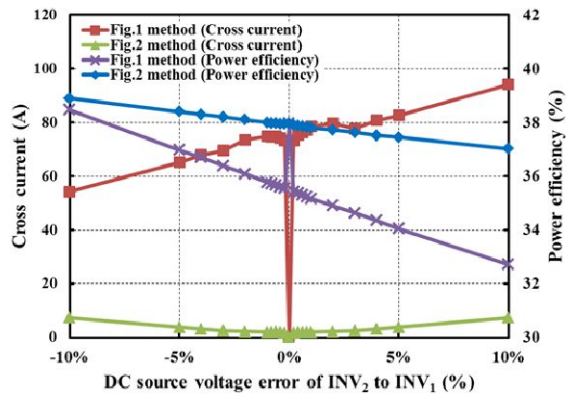


図4 2 台の電力変換器の直流電圧に誤差を与えた時の横流の制御方式による違い

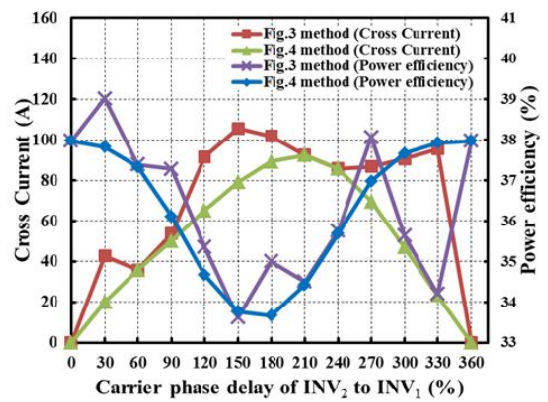


図5 2 台の電力変換器の PWM 信号の位相に誤差を与えた時の横流の制御方式による違い

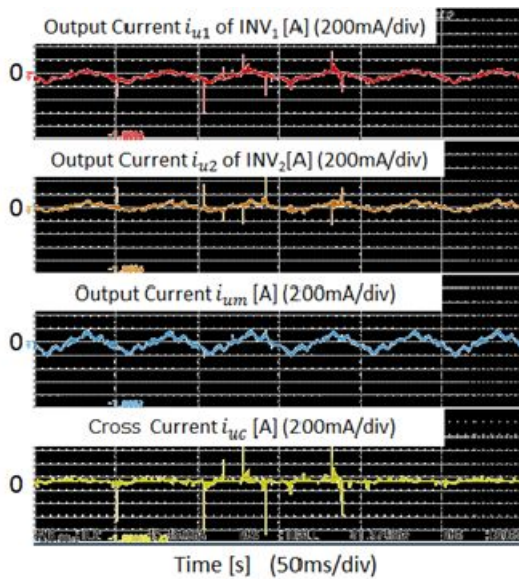


図6 ミニモデルを用いて実験確認した横流抑制結果（従来の個別制御実施時）

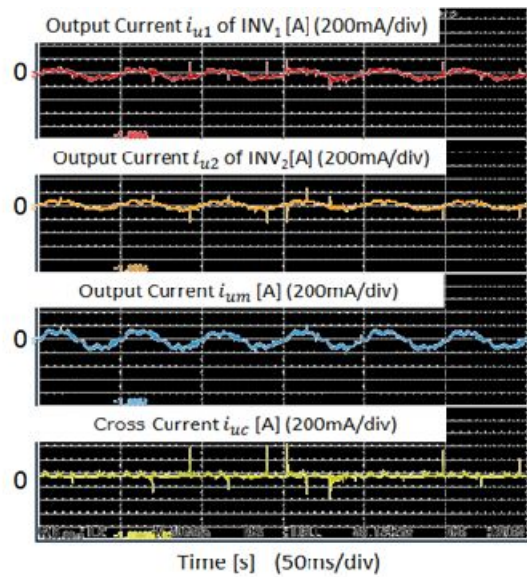


図7 ミニモデルを用いて実験確認した横流抑制結果（提案の和差制御実施時）

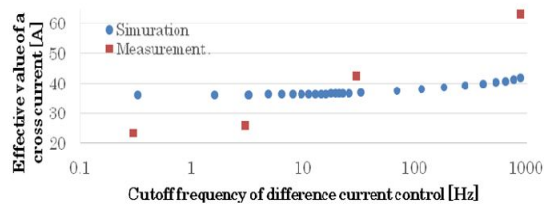


図8 和差制御の制御ゲイン強さと横流抑制効果の関係（シミュレーションと実機試験結果）

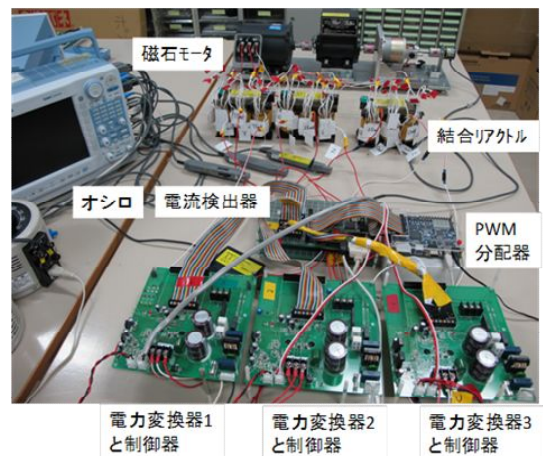


図9 試作したミニモデル装置を用いた横流抑制効果確認装置の外観

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 1 件)

- [1] Takuma Ito, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, Mitsuki Nakai, and Keisuke Ishikura, "Method Controlling Two or More Sets of PMSM by One Inverter on a Railway Vehicle" *Journal of International Conference on Electrical Machines and Systems* Vol.3, No.2, pp.207-214, 2014.

〔学会発表〕(計 10 件)

- [1] Hiromi Inaba, Keiji Kishine, "A Study on Construction and Control Method of Parallel Connected Power Converter," in *IEEJ Annual Meeting Rec.*, 4-069, p. 128, 2011.
- [2] Hiromi Inaba, Keiji Kishine, "Simulation Analysis of Construction and Control Method of Parallel Connected Power Converter," in *Japan Ind. Appl. Society Conf. Rec.*, 1-2, pp.I-103-106, 2011.
- [3] Mitsuki Nakai, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, "Parallel Connected Power Converter Constructed with Odd Number Converters," in *Japan Ind. Appl. Society Conf. Rec.* p.Y-17, 2012.
- [4] Hiromi Inaba, Keiji Kishine, and Yasufumi Igura, "An Electric Power Conversion System Composed of Two Parallel-Connected Converters Providing Different Output Currents," *ICEMS*, DS4G4-2, 2012. ICEMS2012
- [5] Mitsuki Nakai, Hiromi Inaba, Keiji Nakai, and Keisuke Ishikura, "The Parallel Multiple Electric Power Conversion System Constructed by Connecting Three Power Converters," *ICEMS*, PCI-0970, pp.1731-1735, 2013. ICEMS2013
- [6] Keisuke Ishikura, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, and Mitsuki Nakai, "Simulation Analysis of Control Methods of Parallel Multi-Operating System Constructed by the Same Output Power Converters," *ICEMS*, PCI-0971, pp.1736-1741, 2013. ICEMS2013
- [7] Takuma Ito, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, Mitsuki Nakai, and Keisuke Ishikura, "Method Controlling Two or

More Sets of PMSM by One Inverter on a Railway Vehicle" *ICEMS*, SMD-1321, pp50-55, 2013. ICEMS2013

- [8] Mitsuki Nakai, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, Keisuke Ishikura, and Takuma Ito, "Examination of the Cross Current Suppression Method Using the Current Control of the Parallel Operation System Constructed by Two Electric Power Converters," *ICEMS2014*. (Accepted to the ICEMS2014)
- [9] Keisuke Ishikura, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, Mitsuki Nakai, and Takuma Ito, "System Construction Method of Parallel Operation System Constructed by Three Power Converters," *ICEMS2014*. (Accepted to the ICEMS2014)
- [10] Takuma Ito, Hiromi Inaba, Keiji Kishine, Mitsuki Nakai, and Keisuke Ishikura, "Method Controlling Four Sets of PMSM by One Inverter on a Railway Vehicle," *ICEMS2014*. (Accepted to the ICEMS2014)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 2 件)

名称：電力変換システム
発明者：稲葉博美、岸根桂路
権利者名：公立大学法人 滋賀県立大学
種類：特許
番号：特願2011-188937
出願年月日：2011.8.31
国内外の別：国内

名称：エレベータの通信システム及び通信方法
発明者：稲葉博美、井上真輔
権利者名：株式会社 日立製作所
種類：特許
番号：特願2014-032413
出願年月日：2014.02.24
国内外の別：国内

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
業績に関する研究室ホームページ
<http://www.e.usp.ac.jp/~ectw/index.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

稲葉博美 (INABA, hiromi)

滋賀県立大学・工学部・電子システム工学
科・教授

研究者番号：10512733

(2)研究分担者

なし

()

研究者番号：

(3)連携研究者

なし

()

研究者番号：

(4)研究協力者

滋賀県立大学・工学部・電子システム工学科、
博士前期課程学生 石倉啓佑(2 年生)、伊藤
拓磨(2 年生)、中井満貴(H26.3 卒業生)