

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 3月30日現在

機関番号：17301
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560306
 研究課題名（和文） 環境に優しい高性能直接形 AC-AC 電力変換システムの開発
 研究課題名（英文） Development of Environmentally-benign Advanced Direct AC-AC Power Conversion System
 研究代表者
 阿部 貴志（ABE TAKASHI）
 長崎大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：30222649

研究成果の概要（和文）：効率改善，電流歪みの改善，高調波ノイズの削減を目的として，DSP と FPGA を用いた高速制御システムを開発し，システムシミュレーション環境を構築した。さらに，ロバストな制御アルゴリズムを確立し，入力フィルタ設計法を明確にした。

研究成果の概要（英文）：In order to improve the characteristics, reduce the current distortion and the EMI, a high performance control system using DSP and FPGA was developed, a system simulation was provided, a robust control algorithm was confirmed, and a design method of input LC filter was defined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：パワーエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

エネルギー消費の問題や地球環境への貢献から，高性能な電力変換装置の研究が行われている。その中でも直流リンクを介さずに，交流電源から任意の振幅，周波数の交流に直接変換可能なマトリックスコンバータ（以下 MC）が注目を浴び，盛んに研究・議論がなされている。この MC は，従来からのダイオード整流器と電圧形 PWM インバータを用いた交流-交流変換と比較して，小型，軽量，長寿命化が可能であること，高調波電流による他の機器への影響が少ないこと，回生運転が可能のため省エネ，高効率であること，など多種の特長が確認され，最近の逆阻止

IGBT や SiC などの最新デバイス開発により，その期待も膨らんでいる。

研究代表者が所属する研究グループでは長年 MC の研究・開発に取り組んでおり，研究代表者も制御システムの開発や制御手法の確立，ソフトスイッチング技術の併用など多くの研究に携っている。近年では，本グループが提案した AC/AC 直接変換キャリア比較方式を利用した MC が（株）安川電機より「Varispeed AC」として，環境対応，省エネ，コンパクトなどを特長とした 21 世紀を担う新電源として製品化された。

このような背景の中，電動機制御や電力系への応用が検討され，事例も報告されている。

しかしながら、より一層の特性向上が必要とされており、更なる電源への電流歪み低減とノイズ削減を実現するためには、未だに解決が望まれる問題も多く存在している。

2. 研究の目的

本研究期間では、以下の4項目についての研究開発を実施し、高調波・EMIに厳しい医療現場やエネルギー消費の中心である電動機ドライブへの応用に寄与し、環境に優しい電力変換システムを開発する。

(1) 高速制御システムの構築

入力電源の変化や負荷の急峻なトルク変化に対応可能で、従来のDSPを中心とした制御方式ではなく、FPGAなどのプログラマブルICを中心とした高速制御システムを構築する。

(2) システムシミュレーションの構築

半導体デバイスの状態や電動機負荷や電源系統など、全てのシステムを考慮したマルチドメインに対応した設計・試験シミュレーションシステムを構築する。

(3) 制御アルゴリズムの確立

他の機器からの外乱や瞬停などの電源異常に対してロバストな、制御アルゴリズムを開発する。

(4) 入力側LCフィルタ設計法の確立

入力回路に接続されているLCフィルタは、MCのスイッチングノイズの影響を電源側に与えないために重要で、その設計法は実験によるところが大きい。そこでフィルタパラメータの設計手法を確立し、実験によりその有用性を示す。

3. 研究の方法

(1) 高速制御システムの構築 (阿部, 原*1)

従来のシステムではDSPを中心としていたが、入力電圧や出力電流の読み込みをA/Dコンバータにて行い、さらに位相状態の作成や転弧時間の演算などもFPGAに負担させる。DSPではモニタ用PCからの電圧指令や周波数指令を受け取り、FPGAとデータのやり取りを行い、負担を低減する。MCの制御に必要な18個の点弧信号はFPGAから直接出力させる。

(2) システムシミュレーションの構築

(阿部, 樋口, 重松*2)

本研究対象のようなマルチドメインシステムを記述するのに最適である、VHDL-AMS (IEEE1076-1-1999)にて、MC本体、負荷となる電動機、電源システムの各モデルを作成する。さらに、DSPやFPGAによる制御アルゴリズムは、C言語インターフェースやVHDLによる記述を利用した制御モデルとする。なお、これらすべての表現が可能なシミュレーションソフトウェアは、アンシス(株)のSIMPLORERを使用する。

(3) 制御アルゴリズム確立 (阿部, 原)

本研究グループが提案しているAC/AC直接変換キャリア比較方式における、入力電流制御パラメータと出力電圧指令を入力電源のひずみに応じてアクティブに設定し、電源変動が出力に影響しないロバストな制御アルゴリズムを確立し、先の(1)で構築した制御システムにて確認する。

(4) 入力側LCフィルタ設計法の確立

(阿部, 樋口, 重松)

先の(2)にて開発したシステムシミュレーションを利用し、キャリア周波数や負荷、さらには電源側の状態など、様々な条件を入力し、最適な値を設計する手法を確立する。また、本設計にて得られたフィルタを用いて、実験により検証する。

*1: 研究協力者 原 英則 (HARA HIDENORI) (株)安川電機, マトリックスコンバータの制御, システムに精通。

*2: 研究協力者 重松 浩一 (SHIGEMATSU KOUICHI) サイバネットシステム(株), システムシミュレーション, 解析手法の専門家。

4. 研究成果

本研究期間で作成した高速制御システムを図1に示す。図ではマトリックスコンバータは1相3個の双方向スイッチにて表現しているが、実際はIGBTとダイオードが直列に接続された一方向スイッチが逆並列に接続された構成となっている。このマトリックスコンバータにてAC-AC変換を行うには、18個のIGBTに対して、点弧信号を作成する必要がある。本研究では、3相入力線間電圧と3相出力電流情報をA/Dコンバータに入力し、その情報とDSPより得られた指令情報を合わせて、転流シーケンスを考慮した点弧信号をFPGAにて作成する。従来のDSPを中心としたシステムに比べ、処理速度が向上することから、キャリア周波数を上げることも可能となり、制御精度の向上が可能となった。

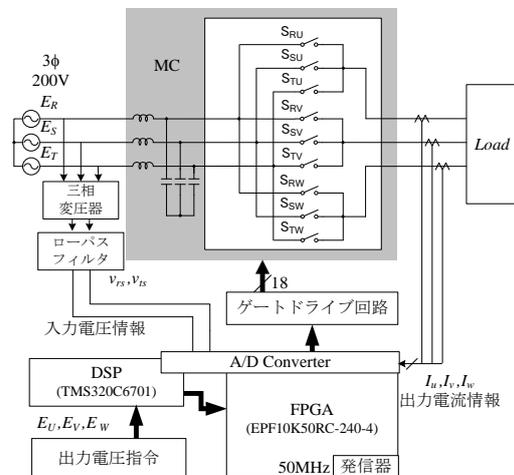


図1 高速制御システム構成

図2に構築したシステムシミュレーションのモデルイメージを示す。図の上部はマトリックスコンバータ本体，入力フィルタ，入力電源，出力負荷をモデリングしている。また，各所に電流計や電圧形を接続し，必要な値が出力される。図の下部はDSPおよびFPGAをモデル化したものである。DSPモデルは実験にて利用しているC言語プログラムをそのままDLLに変換して挿入している。また，FPGAモデルも，実験システムでの記述言語であるVHDLをそのままコピーし，モデリングを行った。これにより，シミュレーションにて実証した際の変更プログラムが，そのまま実験に利用可能となる。

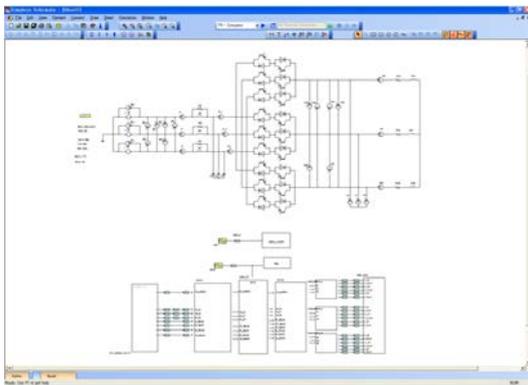


図2 モデルイメージ

本研究グループが提案しているAC/AC直接変換キャリア比較方式では，各相スイッチの点弧時間を計算する際に，入力電圧の中間相の配分率を利用して，入力力率が1になるように入力電流を制御している。この入力電流制御パラメータと出力電圧指令を利用して，入力電源のひずみに応じてフィードフォワード制御を行い，電源変動が出力に影響しないロバストな制御アルゴリズムを確立した。図3に開発したアルゴリズムを構築したFPGAの処理イメージを示す。動作モード情報によってPWM点弧信号に補正を加え，配分率を決定し，補正PWMモジュールにより転流時間を考慮したスイッチング信号を出力する。

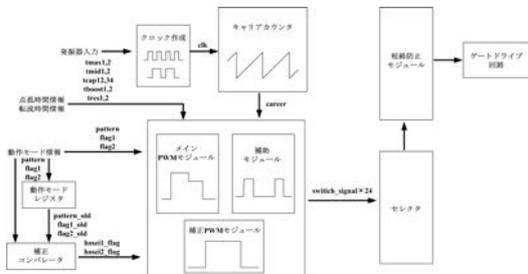


図3 処理イメージ

図1のシステム構成図に示すように，MCの入力側にLCフィルタを接続している。こ

のフィルタ定数を設計するために，本研究成果であるシステムシミュレータを利用した。図4にシミュレーションによるフィルタ前後の電流波形を示す。図に示すように，フィルタの外側である電源側の波形歪みは改善されており，他機器への影響を低減可能となる。このLC定数を変化させた結果を図5に示す。さらに，入力力率特性を図6に示す。これらによりフィルタ定数の最適値を決定することができる。

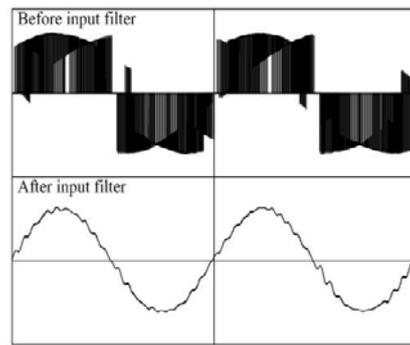


図4 フィルタ前後の電流波形

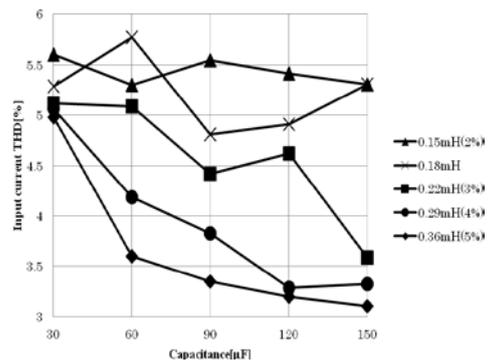


図5 入力電流歪み率特性

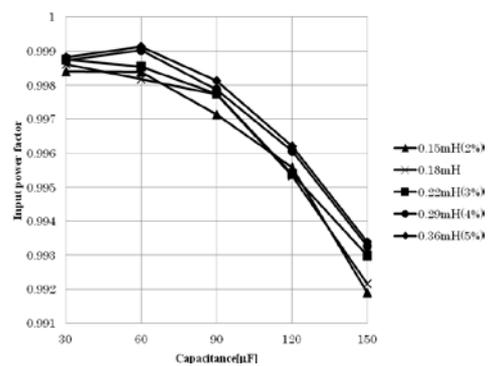
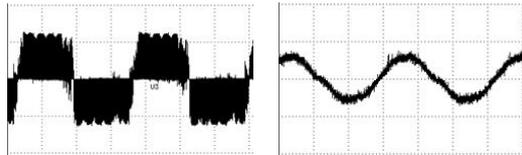


図6 入力力率特性

さらに本研究期間にて得られた高速制御システムやシステムシミュレーションを利用して，電磁ノイズを低減し，効率を向上させるために，ARCPソフトスイッチング技術を利用したARCPマトリックスコンバータの特性試験を実施した。図7に得られた出力電

圧と電流波形を示し、図8に入力力率と効率特性を示す。ソフトスイッチングを行うためには、高速な点弧信号演算が必要となるが、本研究成果を応用することで、それらが実現され、高効率運転が可能となっている。また、このARCPソフトスイッチングは、入力フィルタによって作られる入力側の電気的中性点と各出力相を補助スイッチと共振インダクタンスにて接続する構成を取る。従って、入力フィルタと共振インダクタンスの設計においても本研究成果が適用可能であり、今後、更なる改善を検証していく。



(a) 出力線間電圧 (b) 出力電流
図7 実験波形

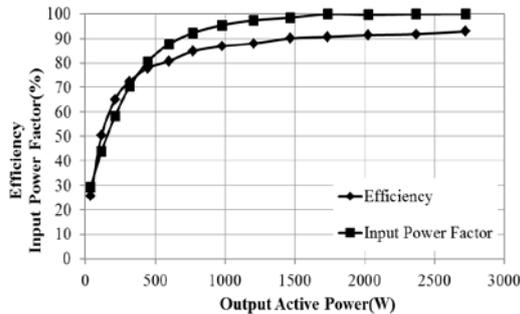


図8 効率、力率特性

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 10 件)

- 1) 浜本浩司, 阿部貴志, 樋口剛, 「回路シミュレータを用いたマトリックスコンバータの入力フィルタに関する考察」, 平成 24 年電気学会全国大会, Vol.4, No.016, pp.26-27 (2012.3), 査読無
- 2) 高山翔大, 阿部貴志, 樋口剛, 「磁場-回路連成解析手法を用いたマルチレベル解析について」, 平成 22 年電気学会産業応用部門大会, Vol.1, No.Y-101, pp.101-101 (2010), 査読無
- 3) K. Tsuji, Y. Kido, T. Abe, “A Study of Vehicle Energy Management during Warming up Process Using VHDL-AMS Multi-domain Simulation”, 電気学会論文誌D, 第 131 巻, 第 8 号, pp.985-991 (2011), 査読有
- 4) 浜本浩司, 阿部貴志, 樋口剛, 「転流動作に着目したマトリックスコンバータの電圧誤差改善」, 平成 23 年電気学会産業応用部門

大会, Vol.1, No.141, pp.633-636 (2011), 査読有

5) 松岡昭宏, 阿部貴志, 樋口剛, 「ARCPマトリックスコンバータ制御法の検証方法について」, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会, No.Y-27, p.26 (2011), 査読無

6) S. Ueno, K. Tsuji, T. Abe, T. Higuchi, K. Shigematsu, “Fundamental modeling of vehicle power network system using VHDL-AMS”, Proc. of International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, No.0136, pp.1046-1051(CD), (2010), 査読有

7) T. Higuchi, T. Ueda, T. Abe, “Torque Ripple Reduction Control of A Novel Segment Type SRM with 2-steps Slide Rotor”, Proc. of International Power Electronics Conference, No.24E1-2, pp.2175-2180(CD-ROM), (2010), 査読有

8) T. Hatase, T. Abe, T. Higuchi, H. Hara, “Improvement of output Voltage Waveform for ARCP Matrix Converter”, Proc. of the 13th European Conference on Power Electronics and Applications, No.0564, pp.1-7(CD), (2009), 査読有

9) 畑瀬高德, 阿部貴志, 樋口剛, 原英則, 「APCPマトリックスコンバータの動作モード変化時における補助相スイッチのサージ電圧抑制」, 平成 21 年電気学会産業応用部門大会, Vol.1, No.1-5, pp.199-202, (2009), 査読有

10) 西岡康太, 阿部貴志, 樋口剛, 原英則, 「PWM変調方式によるマトリックスコンバータのコモンモード特性検証」, 平成 21 年電気学会産業応用部門大会, Vol.1, No.1-7, pp.209-212 (2009), 査読有

[学会発表] (計 1 件)

1) 阿部貴志, 「VHDL-AMSを用いたシステムシミュレーション」, Japan SNSYS Conference, ホテル グランパシフィック LE DAIBA, 東京 (2010.11.18-19)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 貴志 (ABE TAKASHI)

長崎大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 30222649

(2) 研究分担者

樋口 剛 (HIGUCHI TSUYOSHI)

長崎大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50156577

(3) 連携研究者

なし。