

平成25年度環境エレクトロニクス研究グループ 研究成果報告書①

平成26（2014）年3月

公益財団法人 国際東アジア研究センター

平成25年度 調査報告書

国際東アジア研究センター

環境エレクトロニクス研究グループ

上級研究員 安部 征哉

まえがき

本報告書は、公益財団法人国際東アジア研究センター（ICSEAD）環境エレクトロニクス研究グループの環境エレクトロニクス研究プロジェクト（2013 年度実施）の成果である。

本研究プロジェクトの成果は、環境エレクトロニクス産業の発展を目指し、北九州市、産業技術総合研究所、および九州工業大学が締結した三者連携協定へ実質的な参画および連携推進によるものである。

低炭素社会実現に向けて、燃焼に代わるエネルギーとして電力の役割が期待されており、パワーエレクトロニクス（PE）機器の高性能化が重要視されている。また、国内だけでなく世界的にも電力化率（2次エネルギーにしめる電力の割合）は年々増加傾向にあり、社会の主たるエネルギーを電力で賄う次世代高度電力化社会では、大量のパワーエレクトロニクス（PE）機器が部品化され、ユビキタスに使われる時代が来ると考えられる。

本研究プロジェクトでは、三者連携を軸としたパワーエレクトロニクス研究として、様々な研究テーマが設定されている。

本報告書では「次世代集積化パワーエレクトロニクスシステムの研究」、「シリコンウエハー上に搭載可能な究極の小型電源の研究」に関する研究について報告する。さらに、個別研究テーマとしての次世代変換器に必要な要素技術に関する研究についても併せて報告する。

次世代集積化パワーエレクトロニクスシステムの研究では、データセンターにおける次世代高電圧直流給電システムで使用される電力変換器の高電力密度化について検討し、試作器による評価を行った。

シリコンウエハー上に搭載可能な究極の小型電源の研究では、ワンチップ POL を多数並列接続したシステムの制御特性について検討を行っている。

また、変換器に要求される要素技術として、電流共振形コンバータにおける同期整流についても検討し、これまで実現されていなかった信号非検出での同期整流化を達成した。今後、太陽光発電システムに代表される再生可能エネルギーシステムに必要な充放電回路、双方向変換器の検討も併せて行っている。

本報告書が、北九州市の環境未来都市構想など様々な環境施策に貢献できる事を期待する。

最後に、本研究の実施にあたり、ご指導及び有益なご意見・ご討論を頂いた九州工業大学、産業技術総合研究所の諸先生方に深甚なる感謝の意を表す。

平成 26 (2014) 年 3 月

環境エレクトロニクス研究グループ 安部 征哉

目 次

I. 平成 25 年度論文成果	2
II. 平成 25 年度に実施した研究テーマと概要	4
III. 主な研究成果	7
IV. 添付資料	8

I. 平成25年度論文成果

学会誌論文 1 件 (5 月掲載決定) 国際会議論文 9 件 (内 4 件 5 月発表) 国内講演発表 4 件

学会誌論文 : 1 件

1. 安部 征哉, 財津 俊行, 山本 純一, 植田 慎司, 二宮 保, 「LLC 電流共振形コンバータにおける同期整流の信号非検出駆動について」 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J97-B, No.05 (5 月掲載決定)

国際会議論文 : 9 件 (内 4 件 5 月発表)

1. Seiya Abe, Sihun Yang, Masahito Shoyama, Yoichi Ishizuka, Tamotsu Ninomiya, Masato Kaga “Prototype Evaluation of Over 10W/cm³ High Power Density Converter for 400V-DC Power Distribution System in Data Center,” PEDS’13 Proceedings
2. Seiya Abe, Toshiyuki Zaitu, Junichi Yamamoto, Shinji Ueda, Sihun Yang, Masahito Shoyama, Tamotsu Ninomiya, “Consideration of Current Resonant Converter Topology for Bi-Directional Applications,” PEDS’13 Proceedings
3. Takayuki Yamamoto, Jungo Rikitake, Satoshi Matsumoto, Seiya Abe, Tamotsu Ninomiya, “A New Control Strategy for Power Supply on Chip Using Parallel Connected DC-DC Converters,” PEDS’13 Proceedings
4. Ryota Shibahara, Yoichi Ishizuka, Seiya Abe, Tamotsu Ninomiya, “Integrated Buck-Boost Converter with Matrix-POL Architecture,” EPE’13 Proceedings
5. Seiya Abe, Toshiyuki Zaitu, Junichi Yamamoto, Shinji Ueda, Tamotsu Ninomiya, “Seamless Operation of Bi-Directional LLC Resonant Converter for PV System,” APEC’14 Proceedings
6. Seiya Abe, Akira Hidaka, Jungo Rikitake, Satoshi Matsumoto, Tamotsu Ninomiya, “A Novel Load Regulation Technique for Power-SoC with Parallel Connected POLs,” IPEC’14 Proceedings (5 月発表予定)
7. Seiya Abe, Toshiyuki Zaitu, Junichi Yamamoto, Tamotsu Ninomiya, “Operating Strategy for Bi-directional LLC Resonant Converter with Seamless Operation,” IPEC’14 Proceedings (5 月発表予定)
8. Junichi Yamamoto, Seiya Abe, Toshiyuki Zaitu, Tamotsu Ninomiya, “PFM and PMM Hybrid controlled LLC converter,” IPEC’14 Proceedings (5 月発表予定)
9. Kazuhide Domoto, Yoichi Ishizuka, Seiya Abe, Tamotsu Ninomiya, “Control Characteristics Improvement of Full-Bridge DC-DC Converter with Snubber Capacitor,” IPEC’14 Proceedings (5 月発表予定)

国内公演発表：4件

1. 土本 和秀, 石塚 洋一, 二宮 保, 安部 征哉, レジェキ シマンジョラン, 山口 浩, 加賀 雅人, 「スナバコンデンサを付加した高電圧絶縁型 DC-DC コンバータの制御特性改善」 電子情報通信学会信学技報 Vol. 113, No. 155
2. 日高 彬, 松本 聡, 安部 征哉, 「電圧センスによる 1 チップ POL の制御方法の検討」 電気学会 電力デバイス・半導体電力変換合同研究会
3. 土本 和秀, 石塚 洋一, 安部 征哉, 二宮 保, 「スナバコンデンサ付きフルブリッジコンバータの漏れインダクタンスによる制御特性改善」 電子情報通信学会信学技報 Vol. 113, No. 392
4. 柴原 亮太, 田中 公德, 石塚 洋一, 安部 征哉, 二宮 保「H-bridge コンバータを用いたマトリックス POL 電源システムについて」 電子情報通信学会信学技報 Vol. 113, No. 392

II. 平成25年度に実施した研究テーマと概要

1. 直流給電システムにおける電源装置の高密度化について

データセンターで取り扱う情報量が増大しており、給電システム全体のコンパクト化と高効率化が必要不可欠になっている。この問題を解決する方法として、従来の AC200V 給電方式に対して DC400V 給電方式を導入することで、高効率化と給電システム配線小規模化が見込まれる。また、従来のシリコン (Si) の電力変換器は、小型化・高効率化が困難であるため、単位空間当たりの情報処理量が制約されつつある。そこで、シリコンカーバイド (SiC) 素子を用いた半導体直流遮断器を実用化することが必要となる。さらに、単位空間あたりの情報処理量の増加を図るために、SiC により作成されたダイオード、トランジスタなどの素子を用いた、従来よりも高効率・高密度な電力システムの開発を行う必要がある。

本研究では、SiC ダイオードを用いた共振形 DC-DC コンバータの実験回路、設計・製作し、その動作特性を確認し、特性評価を行った。その結果、1kW 出力で効率 96.5% 電力密度 12.5W/cm³ を達成している。

2. シリコンウェハ上には搭載可能な超小型電源 (Power-SoC) に関する研究

近年、通信装置やコンピュータなど様々な装置において、電力供給システムとして分散給電方式を用いることが一般的である。これまで、多出力変換器を用いた集中給電システムが採用されてきた。しかし、負荷となる LSI の大電流化や駆動電圧の多様化により集中給電システムでは高精度の出力を得ることが困難となってきた。そこで、バスコンバータと負荷直近に配置される POL (Point of Load) により構成される分散給電方式が採用されるようになった。POL により大電流化のために問題となっていた配線インピーダンスの電圧降下が著しく低減され高精度の出力電圧が供給できるようになっている。また、多種多様な出力電圧にも容易に対応可能である。

さらに、POL を LSI 内に搭載する検討も始められており、注目を集めている。POL を LSI 内に搭載するためには POL のワンチップ化が必要不可欠である。ワンチップ POL には従来の POL と比べ様々な利点がある。ワンチップ POL は LSI や MEMS プロセスで製造可能なため個体差の極めて小さい物が大量に生産可能である。ワンチップ POL は非常に低電力容量であるが、高効率である。

本研究では、ワンチップ POL を多数並列接続し比較的大きな電力でも使用可能にすることを目的として、その制御手法について検討している。

3. 電流共振形コンバータの同期整流技術に関する研究

近年、電流共振形コンバータは様々なアプリケーションに用いられている。特に液晶テレビ用電源として、既に実用化されており、年間数十万台の生産が行われている。電流共振形コンバータは、電流の共振現象を利用して出力に電力を伝えるため、出力の平滑インダクタが必要ないため、小形化に期待できる。更に、補助回路無しで、一次側スイッチの零電圧ターンオン、二次側スイッチの零電流ターンオフが実現でき、高効率、低ノイズ化が容易に達成できる。電流共振形コンバータの動作特性及び設計手法についてはこれまで詳細な議論が進んでいる。また、出力電圧の低電圧化に伴い、従来のダイオード整流では高効率化の達成が困難となってきたため同期整流化が検討されている。従来の PWM コンバータでは、メインスイッチと同期整流スイッチは完全に同期して動作するため、PWM コンバータの同期整流化は比較的容易である。しかし、電流共振形コンバータにおいては、メインスイッチと同期整流スイッチが完全に同期しないため、その同期整流化は非常に困難である。これまで、電流共振形コンバータの同期整流化は、電圧・電流を検出し、検出信号に応じてタイミングを決定していた。この手法では、回路の複雑化、制御の困難さが問題となっていた。

本研究では、これまで実現しなかった非検出での同期整流技術について検討している。ダイオード整流におけるスイッチングのタイミングを詳細に調べる事により、ダイオードのオン時比率と出力電圧の積が一定となる事を発見した。このオン時比率・出力電圧一定積を利用する事により非検出での同期整流化を達成している。

4. 電流共振形コンバータの双方向化に関する研究

近年、化石燃料の枯渇化及び環境破壊が深刻な問題となっている。これら問題を解決するために、再生可能エネルギーの導入が積極的に進められている。太陽光発電システムなどでは、安定した電力を供給するためにバッテリーが使用される。このバッテリーへの充放電回路として双方向 DC-DC コンバータがキー技術の一つとなっている。双方向コンバータには高効率、低ノイズ、小形などの要求があり、これらの要求を満たす回路として電流共振形コンバータが注目を浴びている。電流共振形コンバータは電流の共振現象を利用して出力に電力を伝えるため、出力の平滑インダクタが必要ないため、小形化に期待できる。更に、補助回路無しで、一次側スイッチの零電圧ターンオン、二次側スイッチの零電流ターンオフが実現でき、高効率、低ノイズ化が容易に達成できる。更に、電流共振形コンバータにおける同期整流技術についても検討が進んでおり、双方向化の実現が近づきつつある。これまで、充電方向（順方向）の回路動作及び回路特性についての詳細な検討は行われてきたが、放電方向（逆方向）における回路動作及び回路特性の検討はほとんどなされていない。

本研究では、電流共振形コンバータの双方向動作における回路動作及び回路特性について詳細に検討している。

5. バッテリー充電用ソフトスイッチング方式変換器に関する研究

近年、化石燃料の枯渇化及び環境破壊が深刻な問題となっている。これら問題を解決するために、再生可能エネルギーの導入が積極的に進められている。太陽光発電システムなどでは、安定した電力を供給するためにバッテリーが使用される。このバッテリーへの充放電回路に求められる性能は、定電圧一定電流特性である。充電回路は、再生可能エネルギーシステムにおけるバッテリー充電に用いられるだけでなく、近年では、EV 自動車・HEV 自動車のバッテリーシステムにも用いられる。そのため、充放電回路には高効率、低ノイズ、小形などの要求があり、これらの要求を満たす回路としてソフトスイッチング回路が必要となる。これまで、様々なソフトスイッチング回路が提案され検討されてきたが、実用化に至るものは非常に少数である。それは、ソフトスイッチングのために複雑な補助回路が必要であり、その制御も複雑化するため、コストに対し性能が見合わないためである。

これらの問題を解決する回路方式として、電流共振形コンバータが注目を浴びている。電流共振形コンバータは電流の共振現象を利用して出力に電力を伝えるため、出力の平滑インダクタが必要ないため、小形化に期待できる。更に、補助回路無しで、一次側スイッチの零電圧ターンオン、二次側スイッチの零電流ターンオフが実現でき、高効率、低ノイズ化が容易に達成できる。この回路方式は、液晶テレビ用電源として、既に実用化されており、年間数十万台の生産が行われている。

しかし、電流共振形コンバータは定電流制御が非常に困難であるという欠点を有する。

本研究では、上記問題点を解決するための回路方式を提案しその回路動作及び定電流特性について検討し、高精度の定電流特性を達成している。

平成 2 5 年度環境エレクトロニクス研究グループ研究成果報告書①

平成 26 年 3 月発行

発行所 公益財団法人国際東アジア研究センター
〒803-0814 北九州市小倉北区大手町 11 番 4 号
Tel : 093-583-6202 / Fax : 093-583-6576, 4602
URL : <http://www.icsead.or.jp>
E-mail : office@icsead.or.jp
