

氏名	MARTINEZ MARTINEZ WILMAR HERNAN	
学位の種類	博士（工学）	
学位記番号	総博甲第115号	
学位授与年月日	平成28年9月26日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項	
文部科学省報告番号	甲第583号	
専攻名	電子機能システム工学専攻	
学位論文題目	Applications of Magnetic Integration for Non-Isolated DC-DC Converters (非絶縁方式 DC-DC コンバータにおける磁気統合方式の応用に関する研究)	
論文審査委員	主査 島根大学准教授	山本 真義
	島根大学教授	矢野 澄男
	島根大学教授	神宮司 要
	島根大学教授	増田 浩次

## 論文内容の要旨

Electric Vehicle (EV) applications are an improved, alternative and emerging technology that is causing a growing interest due to the reduced fuel consumption it offers and the benefits it brings to issues like greenhouse emissions in transportation systems. These vehicles have a long way to go in terms of technological improvements. They demand high efficient, compact and high-power converters in order to supply the enough torque and the needed speed in the daily requirements of the users. These requirements become critical especially in places with varying topography and unstable soils.

Nevertheless, high efficient, high power density and high voltage gain operation are required in the DC-DC converter that interfaces the storage unit with the electric motor and in the DC-DC converter between the storage unit and the auxiliary systems. These features allow to keep the power and autonomy of the electric propulsion system and to have an efficient use of the energy from the storage unit.

In this context, interleaving phases and magnetic integration are known as effective techniques to reduce the volume and mass of power converters as well as the probable increase of the converter efficiency. Therefore, this thesis presents a detailed analysis of several applications of magnetic integration for non-isolated DC-DC converters for these applications.

First, the total volume analysis of the two-phase interleaved boost converter with three different magnetic components is proposed. As part of this analysis, novel

magnetic integration techniques and a novel technique to increase the reduce fringing losses are proposed to increase the power density and the efficiency of these converters. From this analysis, the power density is evaluated from the electric and magnetic modeling.

Second, the magnetic integration technique is evaluated in the proposed single-phase and two-phase tapped-inductor converters with saturable-inductors in order to reduce the recovery phenomenon on the main diodes. These topologies are proposed and evaluated in order to obtain a high efficiency in DC-DC conversion.

Third, for auxiliary systems where low voltage is required to feed non-propulsive load, a high step-down DC-DC converter is proposed to supply these low-voltage loads by a high voltage power supply. Therefore, a high-step-down converter with integrated winding-coupled inductor offers the advantage of a high conversion ratio keeping a high power density and a suitable efficiency. This converter is evaluated and compared with other outstanding high step-down converters.

Finally, a High Step-Up DC-DC converter is proposed as a solution for EV applications where the storage unit voltage is much lower than the voltage required by the motor. This novel converter uses the well-known technique of coupling inductors for achieving high power density and high voltage-gain. This converter is studied in detail, compare to other outstanding converters, and evaluated. Moreover, a parasitic analysis is conducted in order to evidence the advantages of the proposed converter.

In summary, the magnetic integration technique is studied and evaluated in detail for several DC-DC converter topologies, some of them proposed by the author. These analyses include electric and magnetic modeling, characterization of power devices, thermal analysis, geometry analysis, and electric and magnetic design. Moreover, all the presented analyses are validated with experimental tests and some of them with Finite Elements Modeling.

Conclusively, magnetic integration technique proved to be an effective technique with outstanding advantages that can be used in EV applications for increasing the power density, the conversion efficiency, and the voltage gain.

**Keywords:** DC-DC Converters; Magnetic Integration; Interleaved Converters; Coupled Inductor; Efficiency; Power Density; High Voltage Gain; Electric Vehicles.

# 論文審査結果の要旨

新エネルギーインターフェース並びに車載用電力変換器に対して、近年益々、昇圧比の高い電力変換性能を求められるようになってきている。新エネルギー電力発生システムにおいては、高効率な電力獲得のために、比較的低電圧である太陽光発電システム、燃料電池システム、各分散型新エネルギーシステム等から、電力変換器を用いて高電圧に電力変換を行い、その電力送電、輸送を実現する必要がある。また、車載用電力変換器においても、限られたニッケル水素電池やリチウムイオン電池により発生する電圧を、電力変換器を用いて高電圧化することで、高電圧出力に接続されるインバータ、並びに三相モータの高効率な駆動を実現可能となる。この様な応用側の要求に対して本論文では、まず、現状の高昇圧比電力変換器における以下の2つの応用ハードルを分類、掲示した。1) 高昇圧比電力変換器におけるパワー半導体部の負担増加による損失増大、2) 高昇圧比電力変換器における磁気部品における負担増加による部品体積の大型化、の2点である。これらの問題点に対し、それぞれ以下のアプローチによる解決を試みた。それぞれの解決法は、1) 磁気部品の容量性特性を積極的に利用したパワー半導体における低スイッチング動作化、2) 磁気部品の統合巻線化による負担分担、最適化設計による高電力密度化、の2手法となる。

結果として、高昇圧比電力変換器のパワー半導体部損失に関する議論に係り以下の新しい知見を得た。1) 磁気部品の漏れインダクタンス成分を積極的に利用することでパワー半導体のスイッチング損失を改善するリカバリレス高昇圧回路を提案した。2) 提案したリカバリレス高昇圧回路について高密度化の観点で最適化設計を行い、63.5%の磁気部品の小型化を実現した。3) 提案したリカバリレス高昇圧回路において、400W 定格時に従来方式と比較して1.2%改善した97.55%の電力変換効率を獲得した。また、高昇圧比電力変換器の磁気部品体積に関する議論に係り以下の新しい知見を得た。1) 通常はキャパシタ要素を用いた高昇圧比回路が一般的であるのに対して、磁気部品のトランス要素を積極的に利用した新しい高昇圧比回路を提案した。2) 提案した高昇圧比回路には4つの派生回路が存在することを学術的に明記した。3) 従来の昇圧回路に対して同じデューティ比に対して9倍もの高昇圧比動作を実現出来ることを解析的に示し、さらに実機によりその整合性を確認した。実機条件として1kW 出力定格時において30kHz のスイッチング周波数にて行い、入力20V~152V に対して200V 出力時において、理論整合性の確認を行った。

以上のように、本論文では特に新エネルギー、車載分野に対して要求の高い高昇圧回路の応用に際し技術ハードルとなる2つの問題を、新しい2つの回路方式の提案、並びにその詳細なモデル化により解決を試みたものである。特にリカバリレス昇圧回路の提案は、今後損失問題が顕著となる車載機器への技術貢献が極めて高いと評価されるものである。これらの成果の一部は、*Journal of the Japan Institute of Power Electronics* へ1件、電気学会産業応用部門英文論文誌である *IEEJ Transactions on Industry Applications* へ1件掲載済みである。また、*IEEE PEPQA 2015* での国際会議発表に対して **Best Paper Award** を受賞している。

以上より、学術的知見の開拓、ならびに本学の規定を満たす学術論文数等の活発な学術活動を鑑み、本論文は博士(工学)の学位授与のための論文として合格と判断した。