

# 直流給電システム用スイッチング電源の 高周波化のための低損失回路技術の研究

長崎大学大学院工学研究科

池田 敏

再生エネルギーマネジメントシステムの新たな主流となりつつある直流給電システムに用いられる電力変換装置の高効率小型軽量化の要求にこたえるべく、スイッチング電源の高周波駆動が研究されている。スイッチング電源はスイッチ素子のオンオフ動作により所望の電力変換を行うが、高周波化にともない損失やノイズの増大といった問題が発生する。これらの問題を抑制すべく、スイッチ素子のストレスを共振によるソフトスイッチング技術やスナバ技術により低減する方法が注目されている。

直流給電システムにおいて電源となる太陽電池や蓄電池などの再生エネルギー源の電力を変換する場合に適用が検討される昇降圧コンバータ回路に関しても、共振回路やスナバ回路の適用によるスイッチング損失の低減が検討されている。しかしながら再生エネルギー源の電圧範囲や、負荷となる LED 照明負荷の電圧範囲は拡大の傾向にあり、昇降圧コンバータ回路に求められる広範な入出力電圧変換比と高効率小型軽量化を両立することがこれまでの回路方式では困難になってきた。

本論文では、直流給電システムに用いられる電源の小型軽量化の要求に応えるために、電源の心臓部である DC-DC コンバータ回路のパワー半導体スイッチ素子に印加される電圧の上昇をアクティブに低減する対策を講じることにより、高周波駆動と高効率化を両立する新たな回路技術を提案し、その特性を明らかにする。

具体的には、最も用途の広い数百から数キロワットの容量の直流給電システムに対応できる回路技術を対象に、まず数百ワットまでの小容量電源の高周波駆動に最も適した共振形 SEPIC コンバータの新たな回路方式の提案を行い、動作原理の解明と有用性の検証を行う。次に数キロワット以上の比較的大容量の電源の高周波駆動に最も適した昇圧型フルブリッジコンバータの新たな回路方式の提案および動作原理の解明と試作機の開発、有用性の検証を行う。

本論文は、第 1 章から第 6 章で構成され、以下に各章の概要を示す。

第 1 章は緒論である。まず本研究の背景およびその意義について述べたあと、スイッチング電源の概要、および主回路として検討している SEPIC 回路および昇圧型フルブリッジ回路の概略について述べた。

第2章では、準共振形 SEPIC 回路を対象とし、従来の共振形 SEPIC 回路に対し、スイッチ直近に独立した共振用インダクタを新たに付加することでスイッチ電圧の電圧共振によるソフトスイッチングを行う準共振形 SEPIC 回路を提案した。提案回路のインバータ部と整流部が一体となったソフトスイッチング動作条件を明らかにした。またスイッチ素子に対し入力電圧の 5~7 倍の電圧ストレスが加わる課題を明らかにするとともに、回路パラメータとスイッチ電圧特性の関係を明らかにした。

第3章では、アクティブクランプ方式共振形 SEPIC 回路を対象とし、準共振型 SEPIC 回路の課題であるスイッチ電圧の増大を抑制するため、アクティブクランプ回路の適用を検討した。まず回路パラメータとスイッチ電圧および回路特性の関係を明らかにし、さらにそれらが出力電圧およびソフトスイッチングの成立条件に及ぼす影響についてシミュレーションと実験により検証を行った。

第4章では、昇圧型フルブリッジ回路の基本構成および動作原理について述べたあと、低損失アクティブスナバを適用した簡単かつ高効率な回路を提案し、その基本構成および動作原理について明らかにし、実験による検証を行った。

第5章では、昇圧型フルブリッジ回路を蓄電池の充放電装置にも応用可能とするため双方向化した回路方式を提案するとともに、本方式におけるスイッチ素子、スナバ回路、トランス構成に関する高効率化の手法を提案し、実験による検証を行った。

第6章は以上の研究を総括した結論である。

# Study on Energy Loss Reduction for High Frequency Switching Power Supplies in DC Feeding Systems

Graduate School of Engineering, Nagasaki University  
Satoshi Ikeda

Recently, research on high frequency driving of switched mode power supplies has grown to be the major technical issues in response to demand for more efficient, small and light weight power converters deployed in the direct current power supply system, which has become new mainstream of renewable energy management systems. As the switching power supplies gives desirable power conversion by commutation of switching devices, they face problems concerning increasing power loss or EMI noises. Managing these problems, researchers focus on soft switching technologies or snubber technologies aiming to reduce switch stresses.

As for buck-boost converters which are considered to be good candidates in application for converting powers from renewable energy sources like photovoltaic cells or rechargeable batteries, switching loss reduction techniques using resonant soft switching or snubber circuits are discussed. However, voltage range of such renewable energy resources or loads like LED lighting equipment are in trends of expansion and the conventional circuit schemes are out of date and are not the best solution to present wide voltage range and high efficiency at the same time.

At this point of view, this research proposes energy loss reduction technique for high frequency driving of switched mode power supplies presenting novel power converters based on two fundamental schemes which features wide voltage ranges and high efficiency at the same time and verifies their advantage by simulation or experiment.

First proposal is based on the resonant SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter) circuit suitable for high frequency driving of small power supplies up to several hundred watts. Starting with novel resonant SEPIC circuit proposal by adding individual resonant inductor in series with the main switch, its operation in soft switching is verified and its operation principle becomes clear, but this resonant SEPIC circuit has problem of large peak switch stress voltage.

As this problem comes from excessive energy storage in the resonant circuit, the next proposal is active clamp resonant SEPIC circuit which features active clamp circuit which regenerates and obviates the peak resonant voltage stress in the main switch. Its operation and design as the converter is cleared because it has not been clear.

Second proposal is based on boost full bridge converter suitable for high frequency driving of large power supplies up to several kilowatts. As solution to the inherent problem about high peak of the bridge bias voltage, proposed active snubber which operates only in the case of excessive bias voltage features its low loss and high efficiency and experimental results verify its feasibility. In addition, bidirectional derivation for charger application for rechargeable batteries is also proposed and its efficiency improvement scheme is presented and experimental results verify its feasibility.

This thesis consists of chapters 1 through 6 as follows.

Chapter 1 is preface explaining backgrounds and positioning of this study. Overview of switching power supplies, backgrounds of SEPIC circuit and boost full bridge converters are described by prospects of conventional research.

Chapter 2 presents novel resonant SEPIC circuit in which additional resonant inductor is introduced in series with the main switch of the conventional resonant SEPIC circuit. Features on zero voltage switching in the main switch of the novel resonant SEPIC circuit and soft switching condition as the entire converter is clarified. At the same time, the problem of large peak voltage stress in the main switch up to 5-7 times of input voltage and its relationship with circuit parameters was clarified.

Chapter 3 presents active clamp resonant SEPIC circuit which solves the mentioned switch voltage stress in the proposed resonant SEPIC circuit by introducing active clamp circuit. Relationship between switch voltage stress and output voltage characteristics and circuit parameters are clarified by simulation and experiment.

Chapter 4 presents novel boost full bridge converter with low loss active snubber, mentioning fundamental boost full bridge circuit and its circuit and operation principle is discussed. Prototyped experimental results verify its feasibility.

Chapter 5 presents bidirectional derivation for charger application for rechargeable batteries is also proposed and its efficiency improvement scheme is presented and experimental results verify its feasibility.

Chapter 6 is the main conclusion of this thesis.