

再生可能エネルギーの高効率利用を目的とする 電力変換装置に関する研究

田淵電機株式会社
加藤 久嗣

人類が取り組まなければならない最大の問題は、エネルギー資源確保と環境保護の同時解決である。両問題の解決には、再生可能エネルギーと省エネルギーの最大限の利用が必要となる。太陽光エネルギーを直接電力に変換できる太陽光発電システムは、太陽光エネルギーの電力への変換システムとしては、最も効率的であると考えられる。今後は太陽光発電が最も大きく伸びる見込みである。

以上に述べた背景のなか、本研究では、再生可能エネルギーの高効率利用を可能とする電力変換装置に焦点をあてている。本論文は全 6 章から構成され、その内容は以下に示す通りである。

第 1 章は、緒論である。筆者は、2002 年から今日に至るまで、太陽光発電や燃料電池用のパワーコンディショナーに「絶縁形」を採用する重要性を追及し、これに搭載される LLC 共振回路を採用した「絶縁形」DC-DC コンバータの開発を行ってきた。本論文では、実際の設計開発業務を通して、電力変換効率の最大化を目的とし確立した理論的および実験的な回路設計手法の提案およびその有効性の検証を行なう。さらに、太陽光発電に対し、大きく設計仕様が異なる燃料電池用への設計手法の提案及びその有効性の検証を行なった。

一般的に、太陽光発電用パワーコンディショナーには、高電力変換効率、低コスト化および小型化が可能である「非絶縁形」の昇圧チョッパ回路が採用されている。一方で、最近では、太陽電池パネルの PID 現象による劣化が多く確認されている。また、「非絶縁形」は、回路が故障した場合、直流電力が系統に流出する危険性がある。これに対し「絶縁形」では、その劣化が大きく低減されるとされており、安全性も高い。「絶縁形」の高電力変換効率、低コスト化および小型化が改めて強く要求されている。

第 2 章では、太陽光発電用 LLC 共振型 DC-DC コンバータの電力効率改善手法として、倍電圧整流回路の採用について述べる。一般的には、センタータップ整流回路が使用されるが、ダイオードに高い振動電圧波形が重畳される。その要因解析を行なう。提案回路の回路構成、動作原理、及びセンタータップ整流回路との比較データについて述べる。入力電圧 250 V、入力電力 1 kw で最大電力効率 97.5 % を達成した。

第 3 章では、太陽光発電用 LLC 共振型 DC-DC コンバータの電力効率改善手法として、メイ

ントランスの電力効率改善手法について述べる。LLC 共振用のトランスは、積極的に漏れ磁束を共振動作に利用している。トランスの JMAG による磁界解析、及び理論解析により、漏れ磁束が巻き線に鎖交することにより、巻き線に渦電流損が誘導されることが分かった。本章では、解析方法とその検証及び実験データについて述べる。第 2 章で述べた倍電圧整流回路を使用し、最適なトランス設計を行なった結果、入力電圧 270V、出力電圧 380 V、出力電力 1.2 kW、リッツ線の素線径 0.03 φ時、最大電力効率 98.0 %が達成できた。

第 4 章では、LLC 共振型 DC-DC コンバータの制御範囲拡大手法について述べる。太陽電池の入力電圧範囲(85 V~400 V)及び出力電力範囲 (無負荷~2 kw)は広い。ところが、LLC 共振回路は制御範囲が狭い。再生可能エネルギーを有効利用する為に、本章では、LLC 共振回路の制御範囲拡大手法について提案し、さらに、提案回路の解析手法及びその検証について述べる。最大入力電圧及び無負荷の条件下において、共振外れ、バースト発振制御を行なうことなく、出力電圧を制御出来ることが確認出来た。また、LLC 共振型 DC-DC コンバータの起動時は、L 成分、C 成分にエネルギーが溜まっていないので、ハードスイッチングとなる。その為、素子のバラツキにより、過大なスパイク性の電流が 1 次側パワー回路に流れ、制御系が誤動作を起こす。素子のばらつきを吸収する対策として、起動時のみに動作する対策回路の提案と実験結果について述べる。

第 5 章として、PEFC 形燃料電池用 LLC 共振型 DC-DC コンバータの電力効率改善手法について述べる。PEFC 型燃料電池に使用する DC-DC コンバータは、低入力電圧・大入力電流仕様となる。従って、高電力効率を達成することが困難である。高電力効率を達成する為の回路方式、回路解析、実験結果、及び従来回路との比較について述べる。回路方式は、フルブリッジ型 LLC 共振回路を採用し、倍電圧整流回路を採用した結果、入力電圧 19 V で出力電力 340 W の時、最大電力効率 97.4 %を実現した。

第 6 章は、以上を総括した結論である。

Research on Switched-Mode Power Supply for Efficient Use of Renewable Energy

TABUCHI ELECTRIC CO., LTD.
Hisatsugu Kato

The great problem that human must address is a simultaneous solution to energy resource securing and environmental protection. For solving both problems, it is necessary to make maximum use of renewable energy and energy conservation. A solar power generation system that can convert sunlight energy directly to electric power is considered to be the most efficient as a system for converting solar energy into electric power. Photovoltaic power generation is expected to grow greatest in the future.

In the background mentioned above, this research focuses on power conversion equipment that enables high-efficiency use of renewable energy. This paper consists of all six chapters, and their contents are as follows.

The first chapter is an introduction. From 2002 to today, the importance of adopting "insulated type" for a power conditioner for solar power generation and fuel cell and have developed "insulated type" DC-DC converter which adopts LLC resonance circuit mounted on this pursued. In this paper, the circuit design method to maximize power conversion efficiency and verify its effectiveness through actual design and development work has been proposed. Also, a design method for fuel cells with considerably different design specifications for solar power generation and verified its effectiveness is proposed. In general, a "non-insulated type" boost chopper circuit which is preferred to use because of high power conversion efficiency, low cost, and miniaturization in a power conditioner for a photovoltaic generation system.

On the other hand, recently, many deteriorations due to the PID phenomenon of the solar cell panel have been confirmed.

Further, "non-insulated type" has a risk of direct-current power flowing out to the system when the circuit breaks down. On the other hand, in "insulation type," its deterioration is greatly reduced, and safety is also high. Therefore, high power conversion efficiency, cost reduction and miniaturization of "insulated type" are strongly demanded.

In chapter 2, the adoption of voltage doubler rectifier as a power efficiency improvement method of LLC resonant DC-DC converter for photovoltaic power generation is described.

Generally, a center tap rectifier circuit is used, but a high vibration voltage waveform is superimposed on a diode. We analyze the factor. The circuit configuration of the proposed circuit, its operation principle, and comparison data with the center tap rectifier circuit are

described. The maximum power efficiency of 97.5% was achieved at an input voltage of 250 V and input power of 1 kW.

In chapter 3, we describe the power efficiency improvement method of the main transformer as a power efficiency improvement method of LLC resonance type DC-DC converter for photovoltaic power generation. A transformer for LLC resonance positively utilizes magnetic leakage flux for resonance operation. Magnetic field analysis by computer simulation and theoretical analysis for the show that eddy-current loss was induced in the winding by leakage magnetic flux crossing in the windings. In this section, we describe the analysis method, its verification, and experimental data. As a result of using the optimum transformer design and the voltage doubler rectifier circuit described in Chapter 2, when the input voltage is 270 V, the output voltage is 380 V, the output power is 1.2 kW, and the wire diameter of the Litz wire is 0.03 ϕ , the maximum power efficiency of 98.0 % is realized.

In chapter 4, We will describe the control range expansion method of LLC resonance type DC-DC converter. The solar cell input voltage range (85 V to 400 V) and the output power range (no load to 2 kW) are wide. However, the control range of the LLC resonance circuit is narrow. In order to make effective use of renewable energy, this section proposes the control range expansion method of LLC resonance circuit and further describes the analysis method of the proposed circuit and its verification. It was confirmed that the output voltage could be controlled without the inability of resonant operation and burst oscillation control under the condition of the maximum input voltage and no load. Also, at the time of startup of the LLC resonance type DC-DC converter, electrical charge is not accumulated in the inductive elements and the capacitive elements, so hard switching occurs. Therefore, due to variations in elements, an excessive spike current flows to the primary side power circuit. This phenomenon may cause malfunctions in the control system. As the countermeasures for absorbing device variations, a countermeasure circuit that operates only at startup and describes experimental results has been proposed.

In chapter 5, the power efficiency improvement method of LLC resonance type DC-DC converter for PEFC type fuel cell has been described. The DC-DC converter used for the PEFC type fuel cell needs low input voltage and large input current specification. Therefore, it is difficult to achieve high power efficiency. Circuit method to achieve high power efficiency, circuit analysis, experiment results and comparison with conventional circuit has been described. As a result of adopting full-bridge type LLC resonance circuit and voltage doubler rectifier circuit as the circuit system, when the input voltage is 19 V and the output power is 340 W, the maximum power efficiency of 97.4% has been realized.

Chapter 6 is the conclusion summarizing the above.