

家庭用分散電源のための充電用コンバータに関する研究

長崎大学大学院工学研究科
服部 慎一郎

近年、化石燃料を燃焼することで発生する二酸化炭素 (CO₂) が要因となり引き起こされる環境汚染や気候変動がいつそう深刻となっている。そのため、太陽光や風力などの再生可能エネルギーへのエネルギーシフトが急務となっているが、再生可能エネルギーの発電量は、設置する地域の天候や地形に大きく影響を受けるため、安定した電力源として利用するには課題がある。この課題の解決策として、一般家庭における家庭用分散電源システムの普及が期待されている。家庭用分散電源では、電力供給を安定および平準化させるための蓄電池が重要な役割を果たすが、必要となる電力容量が大きく高価であるため、家庭用分散電源の普及を妨げる要因の一つとなっている。そこで、排気ガスをださないパーソナルモビリティとして普及が期待される小型電気自動車 (Micro EV) に搭載されている蓄電池が電力供給を安定および平準化させるための蓄電池の補助として期待されている。家庭用分散電源において無駄なく再生可能エネルギーを使用するには、蓄電池に対し効率よく充電できることが重要となる。

家庭用分散電源システムは、家庭内において AC バスおよび DC バスいずれの利用も想定される。AC バスの家庭用分散電源システムでは、再生可能エネルギーで発電した直流電力を dc-ac インバータで交流電力に変換し、AC バスに接続する。電力負荷である電気製品などは ac-dc コンバータにより交流電力を再度直流電力に変換し使用する。また、接続される蓄電池に対しても ac-dc コンバータを介して充電を行う必要があり、複数回電力変換を行うため、変換損失の低減が課題となる。AC バスから蓄電池を充電する ac-dc コンバータは昇圧型力率改善回路 (PFC) と絶縁降圧型 dc-dc コンバータを組合せた二石式コンバータを用いるのが一般的である。二石式コンバータでは第 1 コンバータである PFC 回路で入力電流を制御することで入力高調波電流を抑制し、第 2 コンバータである dc-dc コンバータにて出力電圧・電流を安定化させる。入力電流の制御と出力の安定をそれぞれ個別のコンバータにて行うため、回路制御は容易であるが、二度の電力変換を行うため、電力変換効率は低くなる。一方、DC バスの家庭用分散電源システムでは再生可能エネルギーで発電した直流電力を dc-dc コンバータを介して DC バスに直流のまま接続し、蓄電池を DC バスから直接充電することができるが、バス電圧の安定と蓄電池の充電を同時に行う必要があり、並列動作のバランス制御を含めて、全体の制御が複雑となる。

そこで本論文では、まず、AC バスの家庭用分散電源システムに対して一石式の ac-dc コンバータを提案し検討を行った。従来の一石式コンバータはクティブフィルタと高周波イ

ンバータの主スイッチを一つのスイッチで兼用させた複合回路方式電圧共振形回路で、主に照明機器に使用されていたが、電力効率が低く、充電器のような比較的高い電力を必要とする機器には不向きであった。一方で、今回提案する一石式コンバータは単一のフルブリッジ回路で入力電流の制御と出力の安定を行う。入力電流の制御と出力の安定を同時に一つのコンバータで行うため、制御は複雑となるが、制御をデジタルシグナルプロセッサ(DSP)を用いたデジタル制御とすることでコンバータの入力・出力を同時に監視し制御を行うことで、一つのコンバータでも安定した出力を可能とすることを示した。

次にDCバスの家庭用分散電源システムに対して、自立運転しながら蓄電池を充電しつつ、同時にDCバスを安定されるdc-dcコンバータを提案し検討を行った。DCバス電圧は一般的な蓄電池の電圧であるDC72Vの直流電力網を想定し、dc-dcコンバータの検討および評価を行った。一般家庭における太陽光発電の容量は8kW程度のため、提案するdc-dcコンバータの定格出力電力は8kWとした。並列運転においては出力電力のバランス制御を必要としないように、各コンバータが定格出力電力内で定電流および定電圧制御を自律的に切替えることで、各コンバータ間の電力バランスにアンバランスが生じても問題なく充電できることを示した。また、蓄電池を充電中にDCバスから他の機器に電力を供給した場合も、DCバスが安定することを示した。今後は、MPPTとの連携を検証しながら、家庭用分散電源システムとしてのフィールド試験を進める。

最後に本論文は、第1章から第4章で構成され、以下に各章の概要を示す

第1章では、本研究を行うに至った背景および要求とその問題点を明らかにし、本研究の位置付けを示す。

第2章では、提案する一石式ac-dcコンバータの回路構成および動作原理を述べ、その静特性および動特性について検討する。

第3章では、提案するフルブリッジdc-dcコンバータの回路構成および動作原理を述べ、その静特性および動特性について検討する。

第4章では、以上の成果を総括し、本論文で提案する海底用分散電源のためのdc-dcコンバータの今後の課題にふれ、結論とする。

Study on Charging Converters for Household Distributed Power Systems

Graduate School of Engineering, Nagasaki University
Shinichiro Hattori

In recent years, environmental pollution and climate change caused by carbon dioxide generated by burning fossil fuel are becoming more serious. Therefore, it is urgent to shift energy to renewable energy such as sunlight and wind power. However, the amount of power generation of renewable energy is greatly influenced by the weather and the topography of the installation site, so there is a problem in using it as a stable power source. As a solution to this problem, the dissemination of household distributed power systems is expected. In the household distributed power systems, storage batteries for stabilizing and leveling the power supply play an important role. However, since the power capacity required for the batteries is large and the price is expensive, it is one of the factors hindering the spread of home distributed power supply. Therefore, a battery installed in a micro electric vehicle (Micro EV), which is expected to be popular as personal mobility that does not emit exhaust gas, is expected as an aid for storage batteries for stabilizing and leveling the power supply. In order to use renewable energy without waste in a household distributed power system, it is important that the storage battery can be charged efficiently.

The household distributed power system is assumed to use both the AC bus and the DC bus in the home. In an AC bus household distributed power system, DC power generated by renewable energy is converted into AC power by a dc-ac inverter and connected to the AC bus. For electric appliances that are electric loads, AC power is converted to DC power again by an ac-dc converter. Also, it is necessary to charge the connected storage battery via the ac-dc converter, and power conversion is performed a plurality of times, so reduction of conversion loss becomes a problem. The ac-dc converter that charges the storage battery from the AC bus generally is a two-stage converter that combines a boost type power factor correction (PFC) current and an insulating step down dc-dc converter. In the two-stage converter, the input harmonic current is controlled by controlling the input current with the PFC circuit which is the first converter, and the output voltage and current is stabilized by the dc-dc converter as the second converter. Since the control of the input current and the stability of the output voltage and current are carried out by separate converters, circuit control is easy, but since the power conversion is performed twice, the power conversion efficiency is low.

On the other hand, in the DC bus household distributed power system, DC power generated by renewable energy can be directly connected to the DC bus via the dc-dc converter, and the storage battery can be directly charged from the DC bus. However, it is necessary to stabilize the bus voltage and charge the battery at the same time, and the

overall control including the balance control of the parallel operation becomes complicated. Therefore, in this paper, I first proposed and considered a single-stage ac-dc converter for AC bus household distributed power system. A conventional single-stage converter is a composite type voltage resonance circuit in which a single switch is used as a main switch of a active filter and a high frequency inverter. Although it was mainly used for lighting equipment, it was low power efficiency and was unsuitable for equipment requiring relatively high electric power such as a charger. On the other hand, the proposed single-stage converter controls the input current and stabilizes the output with a single full bridge circuit. Since the input current control and output stability are simultaneously performed by one converter, the control becomes complicated, but by controlling the digital control using the digital signal processor, the input and output of the converter are simultaneously monitored. By controlling it, we showed that it is possible to achieve stable output even with one converter.

Next, I proposed a dc-dc converter which stabilizes the DC bus while charging the storage battery while autonomously operating DC bus household distributed power system. The DC bus voltage was assumed to be a DC power net of DC 72 V which is a general storage battery voltage, and the dc-dc converter was examined and evaluated. Since the capacity of photovoltaic power generation in general households is about 8 kW, the rated output power of the proposed dc-dc converter is 8 kW. By autonomously switching constant current and constant voltage control within the rated output power of each converter, it was shown that in parallel operation, even if the imbalance in the power balance among the converters occurs, it can be charged normally.

Finally, this paper consists of chapters 1 to 4, and the outline of each chapter is shown below

In Chapter 1, we clarify the background, requirements and their problems leading up to this research and show the position of this research.

In Chapter 2, the circuit configuration and operation principle of the proposed single-story ac-dc converter will be described, and its static characteristics and dynamic characteristics will be examined.

In Chapter 3, the circuit configuration and operation principle of the proposed full-bridge dc-dc converter will be described, and its static characteristics and dynamic characteristics will be examined.

Chapter 4 "Conclusion" summarizes the above results and concludes with a discussion of future tasks of the dc-dc converter for the submarine distributed power source proposed in this paper.