

効率 99.9%級のエネルギー変換が拓く持続的発展可能グリーン社会の実現

Realization of Sustainable Green Society Through 99.9% Class Efficiency  
Electric Power Conversion

課題番号：17H06147

河村 篤男（KAWAMURA, ATSUO）

横浜国立大学・大学院工学研究院・名誉教授



研究の概要（4行以内）

前半の期間では、電力変換効率 99.71%の 2.2kW インバータを実現し、精度±0.04%の計測方法を提案した。変換効率 99.57%の 3 相インバータを実現し、高速潮流制御を確認した。ほぼ予定通りに研究が進行している。後半では、さらに高効率を追求するとともに、この技術により電力配電ネットワークに分散電源を自由に配置できることを実証する。

研究分野：電気電子工学

キーワード：電力変換、高効率インバータ

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災後、我が国のエネルギー事情は苦しい状況に置かれ、省エネルギー化を押し進め、再生可能エネルギーの利用を促進することにより、持続可能な産業の発展を促す状況が続いている。再生可能エネルギーの安定利用を実現するための一番基礎となる技術は、電気エネルギーの変換技術である。

2. 研究の目的

本研究では、5kW 級の電力変換器（インバータ）において、変換効率 99.9%に近い効率が実現可能であることを実証し、それを用いて電力配電ネットワークに分散電源を自由に配置できることを実証することを目標とする。

第一段階では、効率 99.9%級の単相インバータ、第二段階では、効率 99.9%級の三相インバータの実現を実証する。第三段階では、このインバータを用いて高速潮流制御が可能なことを示す。第四段階では、このインバータをマイクログリッドが、省エネかつ安定に電圧制御が可能なことを実証する。そして、最終段階では、この 5 年間の成果に基づき、再生可能エネルギーなど時間変動の大きいエネルギーの有効利用のための電気エネルギー配電網の改革の指針と手法を提案する。

3. 研究の方法

研究目的を 5 つの具体的な研究計画に分類

し、逐次推進する。特に、一番の核となる 99.9%級のインバータは、図 1 に示されるように、部分電力変換の原理に基づく超高効率チョップと、高効率折り返し回路から構成される。前者はスイッチング損失を最小化し、後者は導通損失を最小化する。さらに、このインバータの高速制御を実現することにより、太陽光発電などの時間変動の大きい再生可能エネルギーの有効利用や電気自動車用バッテリーの充放電を効率良く行うことにより、新しい電力配電網の構成を実現する。

4. これまでの成果

4. 1. 基本回路と基本動作：基本回路は図 1 に示した通りで、これは HEECS インバータと呼ばれており、スイッチング部（チョップ）と折り返し部（インバータ）に分かれていることに特徴がある。

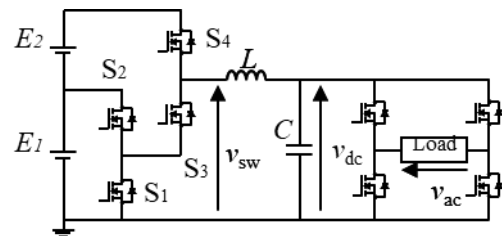


図 1 HEECS インバータの回路図

4. 2. 従来法による効率測定：従来法では、入力と出力の電力の差から損失を求め効率を算出している。この手法で効率を測定した

ものが、図2であり、99.7%以上を測定している。しかし、この測定法では測定精度が低く、 $\pm 0.36\%$ 程度であることが求まる。

4. 3. 新測定法 (損失分解法) :そこで、本研究では精度よく損失を測定する手法として、個別に全損失を測定する損失分解法を提案した。その手法は、すべての要素の損失を測定するために、数多くの測定が必要になる。具体的には、1動作点の効率を求めるために、スイッチングデバイスのスイッチング損および導通損、PCBの導通損、インダクタの導通損、基本波鉄損、リップル損、キャパシタの損失、折り返しインバータの損失など9種類(総測定数500点程度)のデータを測定し、各種演算して計算する。特徴はスイッチング損失をその動作状態で測定した点にある。その損失測定の精度をすべて計算し、積分した結果、精度は $\pm 0.04\%$ (従来法では、 $\pm 0.36\%$ )となることがわかり、効率としては2.2kW出力時に99.71%となった。表1に示したように、効率は従来法とよく似た結果になったが、測定精度は大きく異なる。効率がさらに高くなると違いが出ると思われる。このような測定法は確立されておらず、この提案手法をまとめたジャーナルの査読中である。

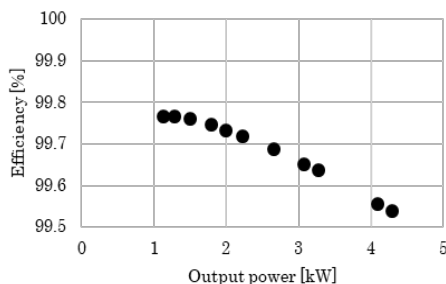


図2 効率測定データ

表1 効率測定値とその精度(2.2kW)

従来法	99.72 $\pm$ 0.36 %
損失分解法	99.71 $\pm$ 0.04 %

4. 4. 損失の可視化とさらなる効率向上 : 図3に2.2kW出力時の損失の割合を可視化したものを示す。これより、どの部分の損失を減少することができるかがわかる。令和2年度以降、さらなる高効率化を目指す。

4. 5. 三相インバータの実験データ : また、このインバータを三相に拡張し、99.57%の効率が求まっている。

4. 6. 高速潮流制御の確認 : シミュレーションでは高速潮流運転が確認されている。

5. 今後の計画

実験計画書に従い、今後はマイクログリッドでの実証を行う。それと同時に、上記の損失の可視化を利用して、さらなる損失低減を目指す。効率99.80%以上を実現することが視野に入ってきた。関連するジャーナル論文が少ないのは、効率が非常に高い場合はその実証方法が存在しなかったため、それを現在提案・実証していたためであり、今後は増加すると見込んでいる。

また、国際的な研究協力(中国および温ノルウェー)を行い、かつ、国際会議などの招待講演で積極的にこの取り組みを公表する。

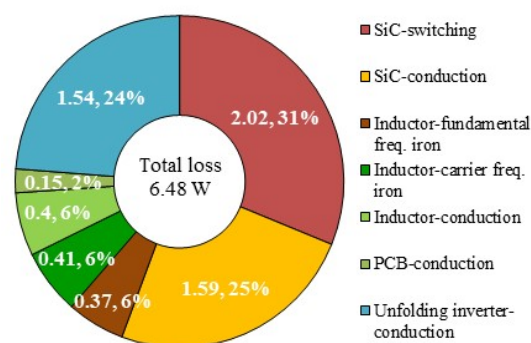


図3 損失の内訳の可視化

6. これまでの発表論文等

[1] A. Kawamura, "Challenge to 99.9 % efficiency electric power conversion and the applications", IEEE ICRERA2019 ( Int. Conf. on Renewable Energy Research and Applications) Keynote Speaker, November 4, 2019 (Romania)

[2] S. Nakazaki, S. Ito, H. Obara, A. Kawamura, "Discussion on Loss Breakdown of 99.6% Efficiency Two Battery HEECS Inverter", IEEE 21th European Conference on Power Electronics and Application, EPE'19-ECCE-Europe, Genova, Italy, 2019-9.

[3] A.Tamura, T. Ishibashi, A. Kawamura, "EV Range extender in a two-battery HEECS chopper-based Power train", *World Electr. Veh. J.* 2019, 10,19; doi: 10.3390/wevj10020019

[4]A. Kawamura, S. Nagai, S. Nakazaki, S. Ito, H. Obara, "A Very High Efficiency Circuit Topology for a few kW Inverter based on Partial Power Conversion Principle", IEEE Energy Conversion Congress & EXPO, ECCE-2018, pp.1308-1313, Portland, USA, 2018-9.

7. ホームページ等

www.kawalab.dnj.ynu.ac.jp