

성층권 태양광 드론을 위한 동기 벽 컨버터의 고효율 및 경량화 설계

김민솔²⁾, 고영종^{*1),2)}

¹⁾국립부경대학교 전기공학전공

²⁾국립부경대학교 4차산업융합바이오닉스공학과

High-efficiency and Lightweight Design of Synchronous Buck Converter for Stratospheric Solar-Powered Drone

Minsol kim²⁾ and Youngjong Ko^{*1),2)}

¹⁾Pukyong National University, Dept. of Electrical Engineering

²⁾Pukyong National University, Dept. of Industry 4.0 Convergence Bionics Engineering

ABSTRACT

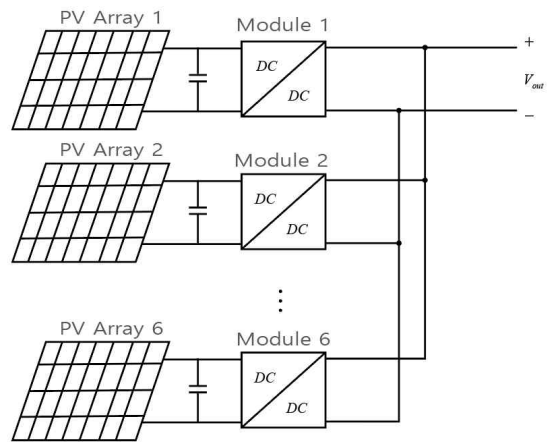
본 논문은 성층권에서 장기체공 드론을 위한 태양광전지 출력 조절기용 고효율 및 경량화 동기 벽 컨버터를 설계한다. 고효율 및 경량화를 위해 Wide-Bandgap 소자인 GaN-MOSFET 적용을 통해 인덕터, 커패시터 무게 경량화와 함께 고효율 목표를 달성한다. 설계된 컨버터의 효율은 영하 70°C이 극저온 환경에서 실험을 통하여 검증한다.

1. 서론

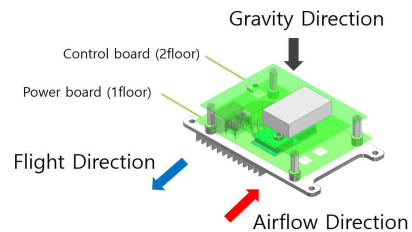
성층권 태양광 무인기는 고도 12km~20km의 비관제 공역에서 수십 일에서 수년 동안 운행하는 무인기이며, 정부출연연구기관 주도로 개발 중인 분야로 영상 관측 및 통신 중계를 탑재하여 기상관측, 산불감시, 불법 어업 등의 감시를 위한 실시간 국가재난시스템 구축을 목표로 연구 중이다.^[1] 성층권의 극한 환경(-70°C, 1/20기압) 및 한정된 태양광 에너지를 사용하여 안정적인 비행을 위해서는 전기 에너지 생산 효율을 높이고, 경량화 설계가 필수적이다. 하지만, 전력변환장치의 고효율화와 경량화는 상호 대립하는 목표로 최적 설계점을 찾아야 하는 어려움이 존재한다. 예를 들어 전력변환장치의 스위칭 주파수 증가를 통해 수동소자의 경량화를 달성하는 반면, 그에 따른 스위칭 손실 증가로 인해 효율이 감소하는 단점이 있다.

이러한 문제점을 극복을 위한 방법으로 소프트 스위칭 기법 또는 Wide-Bandgap (WBG) 전력반도체 소자를 적용하는 기술을 고려할 수 있다.^{[2],[3]} 소프트 스위칭 기법은 전력반도체의 스위칭 순간의 전압 또는 전류를 0으로 하여 스위칭 손실을 제거하는 방법이다. 하지만 소프트 스위칭 기법을 구현하기 위해서는 공진 현상을 위한 추가 소동 소자가 필요하여, 설계가 복잡하고 무게 증가 및 전력 밀도를 감소시키는 단점이 존재한다. 반면에 WBG 전력반도체 소자는 추가적인 보조회로 없이 스위칭 손실을 저감할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 고효율 및 경량화 설계를 위해 WBG 전력반도체 소자 중 GaN-MOSFET 기반의 동기식 벽 컨버터를 설계하고, 효율을 실험으로 검증한다.

2. 6kW급 동기 벽 컨버터 설계



(a)



(b)

그림 1 성층권 태양광 드론용 태양광전지 출력 조절 시스템 : (a) 6kW급 태양광 발전 시스템, (b) 1kW급 단위 모듈 동기 벽 컨버터

Fig. 1 MPPT system for stratospheric photovoltaic drone: (a) 6kW photovoltaic power generation system, (b) 1kW unit module

그림 1은 성층권 태양광 드론의 태양광전지 출력 조절기를 위한 동기 벽 컨버터와 설계된 외형을 보여준다.

먼저, 6kW급 태양광 발전 시스템의 경량화를 위해 그림 1(a)에 보인 바와 같이 1kW급 동기식 벽 컨버터를 단위 모듈로 총 6대의 모듈이 병렬로 구성된다.^[4] 그림 1(b)는 설계된 1kW급 단위 모듈의 외형으로 전력 회로부는 1단, 제어 회로부는 2단에 배치되도록 설계하였다. 또한, 과전압, 과전류 및 과온에 대한 보호 회로를 구성되어 있어, 중앙 제어 장치와 운용 및 보호회로에 대한 동작 상태를 통신한다.

3. 실험 결과

설계된 성층권 태양광 드론용 1kW급 단위 모듈은 시험을 통해 무게 및 효율을 검증한다. 그림 2은 실험환경을 보여주며, 온도챔버를 이용하여 영하 70°C 극저온 환경을 구성하고 전력 구간별 효율 및 발열 소자인 GaN-MOSFET과 인덕터의 케이스 온도를 측정한다.

설계된 단위 모듈의 동작은 그림 4을 통해 검증한다. 여기서, 1 kW 출력 시의 파형이다. 통류율 0.66일 경우 입력전압 72 V, 출력전압이 46.62 V로 출력됨을 보여준다.

그림 5는 출력 전력에 따른 효율 및 발열을 분석한 결과이다. 117 W에서 780 W 사이 구간에서 98 % 이상의 효율을 보이며, 1 kW 출력 시 97.3 %의 효율을 보인다. 온도의 경우 GaN-MOSFET는 120 W에서 영하 68.4°C이며, 570 W에서 780W로 출력이 변동할 때 온도 변동 변화량은 최대 2°C로 나타났다. 또한, 1 kW 출력 시에도 영하 60°C 이하로 증가하지 않음을 보인다. 출력인덕터의 경우 출력 전력에 증가에 따른 온도 변화량이 증가하며 1 kW에서 10.7°C의 최대 변화량을 가지며 영하 35.2°C로 나타났다.

그림 3은 1kW급 단위 모듈의 전력 회로부와 제어부의 무게를 측정할 결과이다. 전력 회로부의 무게는 94.2g으로, 중 출력 인덕터의 무게는 41.9g으로 측정되었다. 또한, 제어부의 경우 25.3g으로 측정되었다.

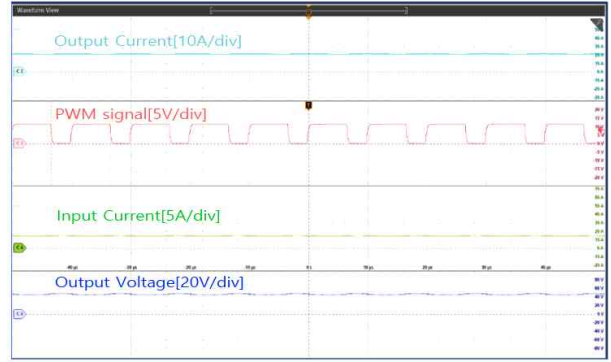


그림 4 전력 모듈 실험결과 파형 (1kW 출력 시)
Fig. 4 Power module experiment result waveform (1kW output power)

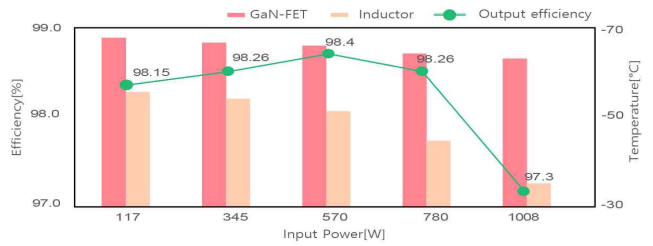


그림 5 출력 전력에 따른 효율 및 소자 표면 온도 측정
Fig. 5 Measurement of Efficiency and Device Case Temperature according to power

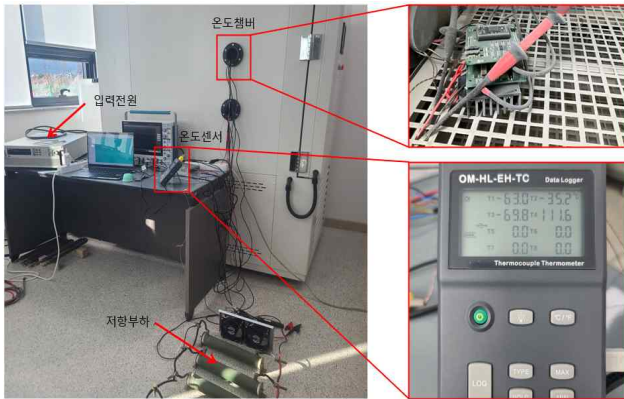


그림 2 실험 세트
Fig. 2 Experimental Setup



그림 3 무게 측정결과 : (a)전력 회로부, (b)제어부
Fig. 3 Weight Measurement Result: (a)Power board, (b)control board

3. 결론

본 논문에서는 성층권 태양광 드론용 태양광전지 출력 조절기의 고효율 및 경량화를 위해 GaN-MOSFET을 적용한 1kW급 동기식 벽 컨버터를 개발하고 실험을 통해 검증하였다. 설계된 단위 모듈의 성능은 성층권 극저온 환경인 영하 70°C에서 검증되었으며, 이를 통해 최대효율 98.4 %, 1 kW 출력 시 97.3 % 임을 확인하였다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022M3C1C7090948)

참고 문헌

- [1] Hwang, Seung-Jae, Jo, Ju-Young, & Lee, Yung-Gyo (2021). Stratosphere Solar-powered UAV's Technical Development Trends. Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, 19(2), 63-73.
- [2] 노의철. 전력전자공학. 서울: 문운당,
- [3] 이은수 (2021). WBG 전력반도체를 적용한 무선전력전송 기술 동향. KIPE MAGAZINE, 26(6), 36-41.
- [4] BuHyeun Eom, & Youngjong Ko (2022-11-25). Design of Resonant Buck Converter for Photovoltaic Stratospheric Drones Considering Efficiency and Weight. Power Electronics Conference, 경기.