

배터리 충전기를 위한 연속전류를 갖는 DC-DC 컨버터에 관한 연구

바이사, 김홍성*, 김영식, 이영진, 자야, 최규하
건국대학교, 한빛EDS*

Study of DC-DC Converter with Continuous output Current for Battery Charger

Bayasgalan, Hong-Sung Kim, Young-Sik Kim, Young-Jin Lee, Zayabaatar, Gyu-Ha Choe
Konkuk University

ABSTRACT

This paper proposed dc-dc converter with continuous output current for battery charger. If we charge energy storage device by conventional boost converter, current flows into the discontinuous and as a result reduces the life-time of battery. The output voltage of dc-dc converter should be higher than voltage of across the battery, specially if charging by PV there is a fluctuation of voltage due change of insolation and temperature, therefore will boost and regulate this voltage. The proposal converter includes forward converter and the output voltage of the proposal converter looks like an input voltage and forward output voltage's add. This topology was tested on simulation and experimentation. Simulation and experimentation results indicated that the proposal topology is useful for battery charging because the output current of the converter flows continuously and perfectly.

Keyword: discontinuous & continuous current, forward converter, battery charger,

1. 서론

무한한 청정 에너지원인 태양광의 이용은 이미 수십년 연구 및 발달 되어 왔으며 한국에서 정의하고 있는 11개의 신재생 에너지중 태양광 발전 분야는 풍력 다음으로 많이 확산되어 있다. 독립형 뿐만 아니라 계통연계형 태양광 시스템 에서도 필요에 따라 태양광 에너지를 직접 쓰지 않고 배터리 같은 에너지 저장 장치에 저장 하거나 병렬로 쓰는 경우가 있다^{[1][2]}. 계통 연계시스템을 위해서 배터리의 정격 전압을 계통연계형 인버터의 직류링크 전압과 동일하게 잡았으며, 일사량 및 주변 온도에 따라 어레이 출력 특성이 달라지기 때문에 승압형 컨버터를 통해 PV-array 출력 전압을 일정하게, 그리고 배터리 양단 전압 비해서 높게 승압시켜야한다. 그러나 태양광시스템의 동작 특성이 항상 변하며 이는 배터리의 수명에 영향을 미칠 수 있어 연속전류가 흐를 수 있도록 적합한 형태의 컨버터가 필요하다^[3]. 그림 1(a)과 같은 기존의 승압컨버터를 통해

배터리를 충전하면 출력 단 전류가 그림 1(b)과 같이 불연속으로 나타나며 이는 배터리에 공급이 되면 배터리 수명이 저하되는 문제점이 있다^[4]. 또한 입력전력을 출력으로 전달하는데 스위치가 100% 담당하기 때문에 스위칭 손실 및 수동소자의 손실에 의해서 컨버터 효율이 낮으며, 설계에 따라 달라질 수 있으나 약 87.9% 정도의 효율을 얻을 수 있었다^[5]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 2(a)와 같이 포워드 컨버터를 포함한 승압형 dc-dc 컨버터를 제안하였다. 시비율과 변압기의 권선비를 이용하여 컨버터 출력 전압을 조절 할 수 있으며, 출력 전압은 입력 전압에 변압기의 2차측에 나타난 전압의 평균치를 더한 만큼이 된다. 스위치 오프 시에도 출력 필터의 전단에 입력전압이 걸림으로서 출력 인덕터의 전류는 연속으로 흐른다. PSIM 툴을 이용하여 시뮬레이션 하였으며 1kW급 컨버터를 제작하여 실제로 배터리 충전 실험을 통해 이 토폴로지를 검증하였다. 실험 및 시뮬레이션 결과를 통해 출력 전류가 연속으로 흐름을 확인 하였다.

2.1 제안된 컨버터의 구성

전체 시스템 구성은 그림 2(a)와 같이 PV-array, 승압형 컨버터, 전력저장장치인 배터리로 구성 된다.

일반적인 포워드 컨버터를 포함한 형태로서 고조파 변압기는 입력 전압을 절연시켜 이를 다시 입력에 더해주는 역할을 한다. 변압기의 2차 권선은 스위칭 한주기 내에서 변압기의 자화전류를 리셋 시키기 위한 demagnetizing 권선이고, 다이오드 D_1 은 3차권선 N_3 와 평활용 리액터 L_{dso} 사이에 순방향으로 연결되어서 다이오드 D_2 를 통해 유입되는 전류가 3차 권선으로 역류하지 못하게 한다.

2.2 제안된 컨버터의 동작

제안된 컨버터는 하드 스위칭방식으로 동작 하였으며 간단한 회로 해석을 위해서 스위치 및 다이오드의 온 시의 전압 강하를 무시 하였으며 변압기를 이상적이라고 가정하였다. 스위치의 온, 오프 시의 회로 해석은 다음과 같다.

a) 스위치 온 동작: 그림3(a)과 같이 변압기의 1차권선 및 스위치를 통해 전류가 흐르며, 스위치 및 다이오드의 전압 강하를 무시하면 3차 권선에 전압은 권선비에 의해서 식(1)과 같다. 인덕터에 걸리는 전압을 식(2)와 같이 표현 할 수 있

으며 이는 스위치 온 동안에 0보다 크기 때문에 L_{dsol} 에 흐르는 전류가 증가한다.

$$V_1 = \frac{N_3}{N_1} V_{sol} \quad (1)$$

$$v_{L_{dsol}} = V_{sol} \left(1 + \frac{N_3}{N_1} \right) - V_{ba} \quad 0 < t < t_{on} \quad (2)$$

b) 스위치 오프 동작: 그림3(b)과 같이 스위치가 오프 되는 순간 변압기의 자화 전류가 D3 및 N2 권선을 통해 소스쪽으로 흘러 리셋이 된다. 이 전류의 크기는 1차 및 2차의 권선비에 의해서 결정이 되는데 이는 컨버터의 최대 시비율을 전하는데 중요하다. 변압기를 포화 되지 않도록 제어하기 위해서는 스위치 오프구간 내에 자화 전류가 리셋되어야 한다. 본 논문에는 1차 및 2차의 권선비를 1로 하였으며 시비율은 최대 0.5까지 운전이 가능하다. 그림3(c)에는 자화전류가 리셋된 후의 전류 흐름을 보이고 있으며 이때 인덕터 전단의 전압은 V_{sol} 과 같다. 인덕터 양단전압은 식(3)과 같으며 0보다 작기 때문에 L_{dsol} 에 흐르는 전류가 감소된다.

시비율과 변압기의 권선비를 이용하여 출력전압을 V_{sol} 보다 높게 제어할 수 있고, 컨버터의 입력 및 출력 전압비는 식(4)과 같다. 기존의 시스템에 비해 스위치 오프 시에도 출력 필터의 전단에 입력전압이 걸림으로서, 전력저장장치에 인가되는 충전전류 i_{ba} 가 연속으로 흐른다. 정상상태에서 식(5)과 같은 전력 평형 방정식을 쓸 수 있다.

$$v_{L_{dsol}} = V_{sol} - V_{ba} \quad t_{on} < t < T_s \quad (3)$$

$$\frac{V_{ba}}{V_{sol}} = \left(1 + \frac{N_3}{N_1} D \right) \quad (4)$$

$$P_{sol} = V_{sol} I_{sol} = V_{dsol} I_{dsol} = V_{sol} I_{dsol} + V_1 I_{dsol} \quad (5)$$

여기서, D : 스위치 S_d 의 시비율

V_{sol} , I_{sol} : 정상상태에서의 PV-array 단자전압 및 전류

V_{dsol} , I_{dsol} : 정상상태에서의 컨버터 출력 전압 및 전류의 평균

V_1 : 정상상태에서의 전압 v_1 의 평균

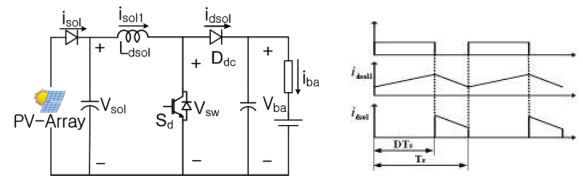
3. 시뮬레이션 및 실험결과 중요파형

시뮬레이션 회로도도 그림 4와 같으며 시뮬레이션 및 실제 회로도에 사용된 각 파라미터 값은 표1과 같다.

PowerSim사의 PSIM6.0을 사용하여 시뮬레이션 하였으며

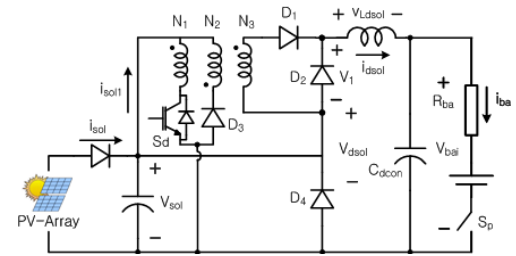
그림 5와 6의 좌측에 제안된 dc-dc컨버터에 대한 입출력 및 각 부 주요파형을 나타내었다. 그림 5의 A와 B에서 입력 전류 및 스위치에 흐르는 전류를 나타내고 있으며 C에서 컨버터 출력 인덕터 전류가 스위치의 온-오프 상태에 따라 선형적으로 증가, 감소를 하고 있으며 인덕터 전류에는 작은 리플성분이 있으나 이는 출력 필터에 의해서 거의 직류 전류가 되며 이는 배터리의 수명을 보호하게 된다. 그림 6의A에서 스위치 오프 시에 양단에 입력의 2배 만큼 큰 전압이 걸리는 것을 볼

수 있다. 시뮬레이션 파형에서는 ringing이 생기는데 이는



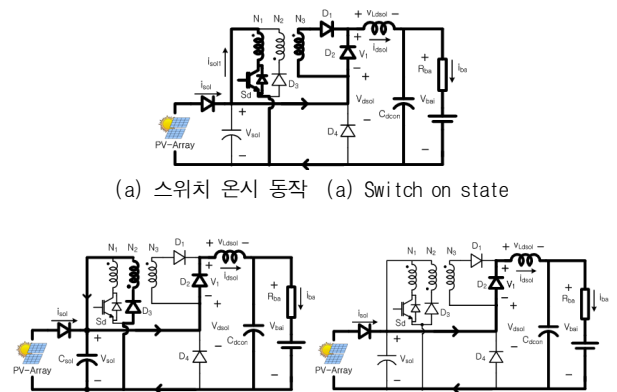
(a) 전력 회로 (b) 출력 불연속 전류
(a) Power circuit (b) output discontinuous current

그림 1. 기존의 승압 컨버터
Fig 1. Conventional boost converter



(a) 제안된 토폴로지 (a) Proposed topology

그림 2. 배터리 충전을 위한 승압컨버터
Fig. 2 Boost converter for battery charger



(b) 자화 전류 리셋 동작 (c) 자화전류 리셋 후 동작
(b) state of magnetizing current reset (c) state of after reset

그림 3. 스위치 온 오프 시에 따른 회로 동작
Fig. 3 Circuit action versus switch on and off state

변압기의 1차권선의 누설 인덕턴스의 의해서 나타난 것이며, 스너버 회로 또한 소프트 스위칭 방식을 이용하여 이를 감소시킬 수 있다. 제안된 컨버터를 실험하기 위한 주변 장치는 다음과 같다. PV-Array 대신 전압을 공급하기 위해서 SW5250A를 전원 장치로, 전력 효율을 계산하기 위해서 PM3000A, Lecroy사의 Wave Runner 6100 오실로스코프를 사용하였다. 에너지 저장장치, 즉 제안된 컨버터의 부하로서 Rocket사의 ESH30-12 배터리30개를 직렬로 연결해 사용하였다. 그림 5와 6의 우측면에 시뮬레이션의 동일 조건에서의 실험 파형을 보이고 있으며 시뮬레이션 및 실험 파형이 일치하고 있다. 그림 8에서 효율 계산하기 위해서 저항 부하를 이용

하여 실험을 통해 얻어진 결과이며, 500W 일 때 최대 95.6%이며 평균적으로 95.4%가 되었으며 기존의 승압컨버터의 비해 7.7% 정도 증가했다.

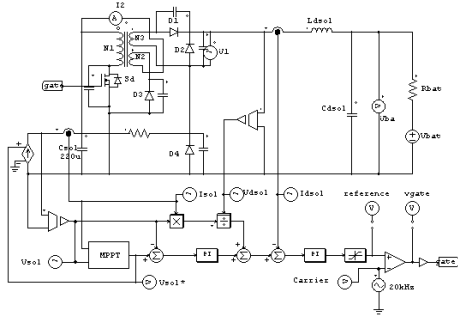


그림 4. 시뮬레이션 회로도
Fig. 4 Simulation circuit

표1. 시뮬레이션 및 실험 조건
Table. 1 Condition of simulation experimentation

태양 전지의 정격	P_{sol}	1[kW]
태양전지 정격 전압	V_{dsol}	340[V]
배터리 정격 전압	V_{ba}	380[V]
변압기의 권선비	$N_3/N_1, N_2/N_1$	0.8, 1
출력 인덕터	L_{dsol}	3.5 [mH]
출력 커패시터	C_{dcon}	3300[uF]
입력 커패시터	C_{sol}	220[uF]
스위칭 주파수	f_s	20[kHz]

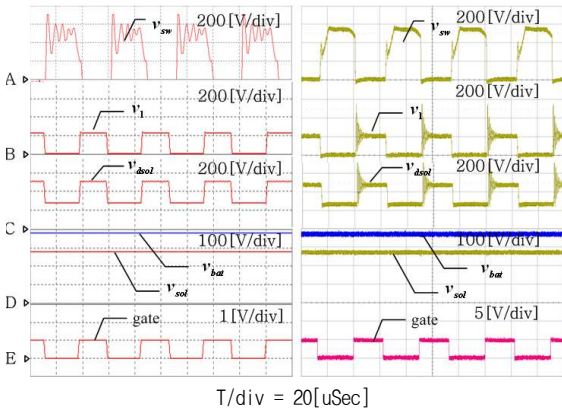


그림 5. 회로 각부의 전압 파형
Fig. 5 A voltage waveform of each components

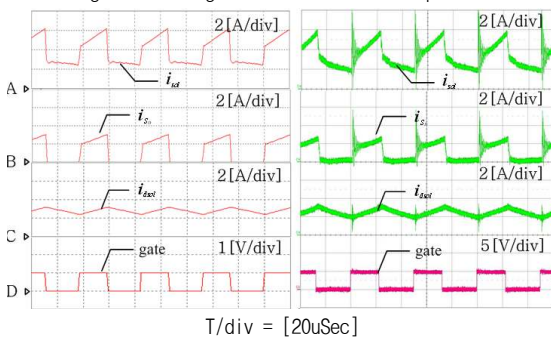


그림 6. 회로 각부의 전류 파형
Fig. 6 Current waveform of each components

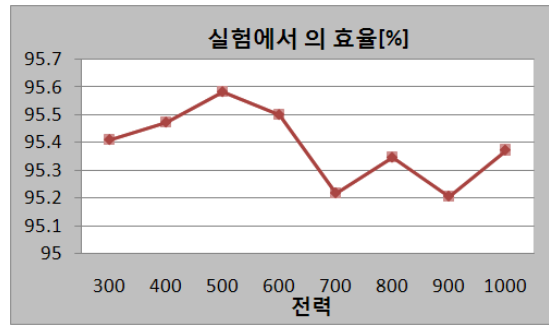


그림 7. 제안된 컨버터 효율
Fig. 7 Efficiency of proposed converter

4. 결론

본 논문에서는 배터리 충전기를 위한 연속전류를 갖는 dc-dc 컨버터를 제안하였다. 전류에 리플 성분이 포함되어 있으나 출력 필터에 의해서 거의 직류전류가 되어 이는 배터리의 수명에 영향을 끼치지 않게 된다. 또한 입력 전력을 출력으로 전달하는데 100% 담당하는 기존의 방식과 달리 스위치 온 시에 만 출력 전력의 일부분이 변압기를 통해 전달되기 때문에 효율이 높아지는 장점을 가진다. 향후 계획으로서 실제 태양전지를 통해 실험 하여 제어 개선 및 최적화 설계를 통해 컨버터 효율을 올릴 것이다.

이 논문은 지식경제부의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 김영식, 바이사, 허혜성, 최규하 “첨두부하 삭감효과를 갖는 UIPV시스템의 개선된 운용방법” 연구회합동 춘계학술회발표회. 2008.4.25. pp. 44-47.
- [2] Cong-Ling Hou, Jie Wu, Miao Zhang, “Application of Adaptive Algorithm of Solar Cell Battery Charger” Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, 5-8 April 2004. pp. 810-813. Vol.2
- [3] 허혜성 “개선된 첨두부하 삭감효과를 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템” 건국대학교, 석사학위논문. 2008.02
- [4] Chih-Chiang Hua, Pi-Kuang Ku “Implementation of Stand-Alone Photovoltaic Lighting System with MPPT, Battery Charger and High Brightness Leds” IEEE PEDS 2005, pp. 1601-1605.
- [5] 김용 “ZVT Boost 컨버터의 스위칭 손실 저감에 관한 연구”, 동국대학교. 석사학위논문. 2005