

# 전기 자동차용 태양광 모듈 통합 DC-DC 컨버터

황윤경, 남광희  
포항공과대학교

## A PV Module-Integrated DC-DC Converter for EV

Yunkyung Hwang, Kwanghee Nam

Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

### ABSTRACT

이 논문에서 제안하고자 하는 컨버터는 태양광 모듈이 결합된 Phase-shifted Full-bridge(PSFB) 컨버터이다. 기존 전기자동차의 전력변환 시스템에는 고전압 배터리와 저전압 배터리간 전력전달을 위한 DC-DC 컨버터가 존재한다. 저전압 배터리 충전에 있어 고전압 배터리 외에 태양광 모듈 컨버터를 사용하여 고전압 배터리 사용량을 낮출 수 있다. 이 논문에서는 기존의 PSFB 컨버터의 2차측에 태양광 모듈과 스위치하나를 추가하여 태양광 Buck Converter를 구성하였고 PSFB컨버터의 출력 인덕터와 Synchronous switch를 사용하게 되어 소자 수를 절감하였다. 또한 PSFB 동작 시 1차측 전류가 Free wheeling하는 구간에서 태양광 Buck converter를 동작함으로써 고전압 배터리와 태양광 모듈에서 동시에 저전압 배터리로 전력공급이 가능하게 하였다.

### 1. INTRODUCTION

최근 지구 온난화와 화석 연료 고갈로 전기 자동차(EV)수요와 활발한 연구가 진행되고있다. 그 중에서도 전기자동차의 전력과 최대 주행거리 증가로 인해 전기 자동차에 PV 모듈 컨버터를 탑재하여 고전압 배터리를 충전하는 PV Assisted HEV system [1]에 대한 연구가 소개되었다. 본 논문에서는 기존의 PSFB 컨버터에 스위치를 추가하여 PV 모듈 컨버터와 PSFB 컨버터의 통합된 컨버터를 구성하였다. 제안된 컨버터의 2차측 만을 사용하여 PV 모듈 컨버터로 사용할 수 있고 PSFB 컨버터 동작 시 free-wheeling 구간에서 PV 스위치를 스위칭 하여 동시 동작가능하다. 동시 동작 시 PV 모듈과 스위치가 Active-clamping 역할을 하여 PSFB 컨버터의 문제점인 free-wheeling 시의 순환전류를 줄일 수 있다.[2]

### 2. PROPOSED CONVERTER

그림1은 제안된 PSFB 컨버터 회로이다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안된 컨버터는 기존의 PSFB 컨버터에 스위치, PV모듈 및 커패시터가 추가된 구조이다. 제안된 컨버터의 1차측은 full-bridge 구조이고 2차측은 Synchronous rectification 및 양방향 전력 전달을 위한  $Q_5-Q_6$  와 PV 모듈에 연결된  $Q_7$  으로 이루어져있다. 제안된 컨버터는 PV 모듈, 고전압 배터리에서 각각 독립적으로 전력전달이 가능하며 양방향 전력전달이 가능하다. 본 논문에서는 PV 모듈만으로 전력전달하는 PV-Buck mode와 두 전원을 동시에 사용하여 전력전달하는 Buck mode에 대해서만 서술하였다.

#### 3.1 PV-Buck mode

그림2는 제안된 컨버터의 2차측만을 보여주고 있다. PV-Buck mode는 PV 모듈만을 사용하여 전력전달하므로 전류는 2차측 내에서만 흐르게 된다.  $Q_7$ 이 켜지게 되면 그림2.(a)와

같이 PV 모듈에서 출력인덕터를 통해 저전압 배터리로 전류가 흐르게 되고  $Q_7$ 이 꺼지게 되면 그림2.(b)와 같이 출력 인덕터에 흐르던 전류가  $Q_5, Q_6$ 을 통해 흐르게 된다. 구간 별 출력 인덕터의 전류와 전압 이득 식은 아래와 같고  $D_7$ 을 조절하여 MPPT(Maximum Power poing Tracking)를 한다.

$$i_{Lo}(t) = i_{Lo}(t_0) + \frac{(V_{pv}-V_o)}{L_o} t \quad (1)$$

$$i_{Lo}(t) = i_{Lo}(t_1) - \frac{V_o}{L_o} t \quad (2)$$

$$(V_{pv} - V_o)D_7T_{sw} - V_o(1 - D_7)T_{sw} = 0 \quad (3)$$

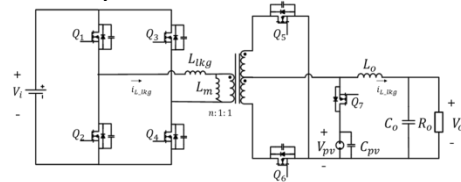


그림 1. 제안된 토폴로지

### 3. OPERATIONAL PRINCIPLES

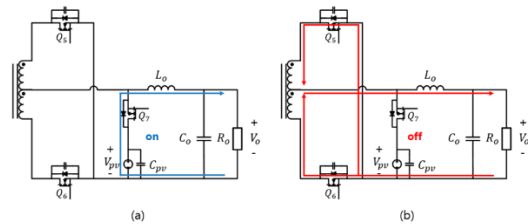


그림 2. PV-Buck mode 동작원리

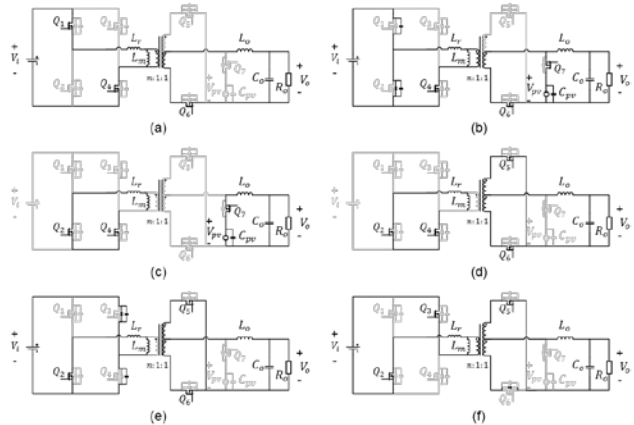


그림 3. Buck mode 전류경로

#### 3.2 Buck mode

Buck mode에서는 고전압 배터리와 PV모듈에서 동시에 전력전달을 진행한다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 1차측

스위칭 시퀀스는 기존 PSFB 컨버터와 동일하게  $D_1$ 의 위상천이를 가지며 2차측의  $Q_7$ 은 PSFB 컨버터의 free-wheeling 구간에서  $D_7$  동안 켜진다. 한 스위칭 주기에 대한 전류 경로는 12개의 모드로 구성되지만 중복을 고려하여 모드1-모드6을 그림 3과 아래 수식들로 설명하였다.

#### Mode 1 [ $t_0 - t_1$ ]

이 모드는  $Q_5, Q_6$ 간의 정류가 끝나게 되면 시작된다. 1차측의 전류는  $Q_1, Q_4$ 를 통해 흐르고 변압기의 1차측에는  $V_{in}$ 이 걸리게 된다. 각 인덕터의 전류식은 아래와 같다.

$$i_{L_{lkq}}(t) = i_{L_{lkq}}(t_0) + \frac{V_{in} - V_o}{nL_o} t \quad (4)$$

$$i_{L_o}(t) = i_{L_o}(t_0) + \frac{V_{in} - V_o}{L_o} t \quad (5)$$

#### Mode 2 [ $t_1 - t_2$ ]

이 모드는  $Q_1$ 이 꺼지고  $Q_7$ 이 켜지면 시작된다. 이 구간 동안  $Q_1, Q_2$ 의 출력 커패시터가 충전전 되고 ZVS(Zero Voltage Switching) 조건이 충족된다.  $Q_7$ 이 켜졌기 때문에 1차측 인덕터에는  $-nV_{pv}$ 가 걸리게 되고 자화전류와 같아질 때까지 전류가 감소한다. 출력 인덕터에는  $V_{pv} - V_o$ 가 걸리게 되고 각 인덕터의 전류식은 아래와 같다.

$$i_{L_{lkq}}(t) = i_{L_{lkq}}(t_1) - \frac{nV_{pv}}{L_{lkq}} t \quad (6)$$

$$i_{L_o}(t) = i_{L_o}(t_1) + \frac{V_{pv} - V_o}{L_o} t \quad (7)$$

#### Mode 3 [ $t_2 - t_3$ ]

이 모드는 1차측 인덕터 전류가 자화전류와 같아지면 시작된다. 이 구간 동안 2차측 전류는  $Q_5, Q_6$ 을 통해 흐르게 된다.

#### Mode 4 [ $t_3 - t_4$ ]

이 모드는  $Q_7$ 이 꺼지고 시작된다. 출력 인덕터에는  $-V_o$ 가 걸리고 전류식은 다음과 같다.

$$i_{L_o}(t) = i_{L_o}(t_3) - \frac{V_o}{L_o} t \quad (8)$$

#### Mode 5 [ $t_4 - t_5$ ]

이 모드는  $Q_4$ 가 꺼지고 시작된다. 이 구간 동안  $Q_3, Q_4$ 의 출력 커패시터의 충전전되고 ZVS 조건이 충족된다.

#### Mode 6 [ $t_5 - t_6$ ]

이 모드는  $Q_3$ 가 켜지고 시작된다. 변압기의 1차측에는  $-V_{in}$ 가 걸리고 전류식은 아래와 같다.

$$i_{L_{lkq}}(t) = i_{L_{lkq}}(t_5) - \frac{V_{in}}{L_{lkq}} t \quad (9)$$

### 4. SIMULATION RESULTS

그림5 (a)에서 각 인덕터의 전압 전류파형을 확인할 수 있고 (b)에서 Solar intensity의 변화에 따른 출력전압 제어파형과 MPPT 성능 파형이다.

### 5. CONCLUSION

본 논문에서는 PV 모듈 컨버터와 PSFB 컨버터를 통합한 컨버터를 제안하였고 이는 기존 컨버터에 비해 소자질감과 효율증대의 장점을 가진다. 제안한 컨버터를 PSIM으로 구성하여 시뮬레이션을 진행하였고 MPPT 알고리즘과 출력 전압 제어를 통해 동작한다. 기존 PSFB에 비해 평균 1% 정도 증가된 효율을 그림6에서 확인할 수 있다.

이 논문은 한국산업기술평가관리원 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

[1] M Kaleeswari, " Investigation on PV fed hybrid electric vehicles with various power electronic circuits", 2017 IEEE

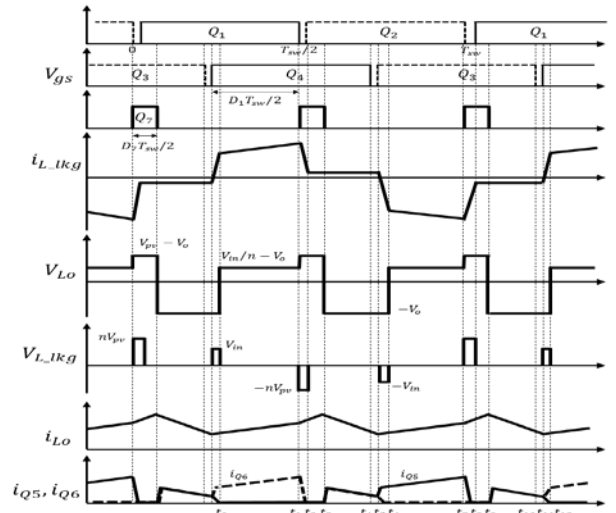
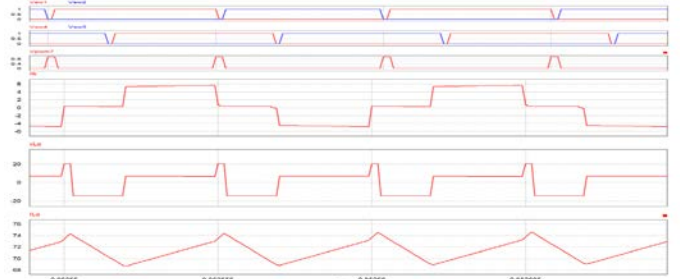
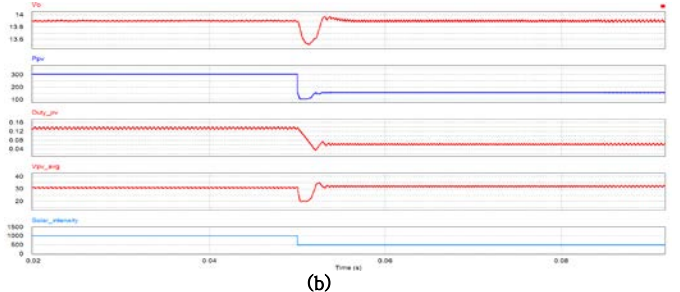


그림 4. Buck mode 파형



(a)



(b)

그림 5. Buck mode Simulation: (a) 전류,전압 (b) MPPT제어 파형.

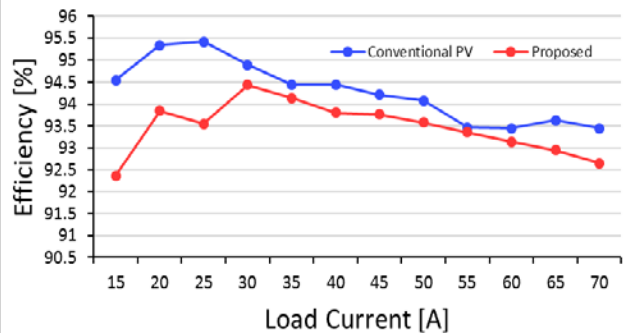


그림 6. 효율 그래프

International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy (ICAETGT), 19 April 2018, [2] Jung-Kyu Han, Gun-Woo Moon. "High-Efficiency Phase-Shifted Full-Bridge Converter With a New Coupled Inductor Rectifier", 2019 IEEE Transactions on Power Electronics, Sept.2019.