

# 태양광 발전용 에너지 저장장치를 포함하는 고효율 전력조절기

이화석, 김석희, 박종후  
 송실대학교

## Power conditioning system including an energy storage device with a photovoltaic source

Hwa Seok Lee, Seok Hee Kim, Joung Hu. Park  
 SoongSil University

### ABSTRACT

본 논문에서는 에너지 저장장치를 직렬로 연결하는 전력조절기 구조를 제안한다. 제안하는 전력조절기 구조는 부스트 컨버터와 인버터 사이에 충·방전 전력조절기를 직렬로 연결한 구조이다. 이 구조는 독립운전시에도, 인버터가 동작되기 위한 최소 한계 전압인  $V_{dc}$  과는 무관하기 때문에 충·방전 범위가 충분히 크며, 또한 충·방전시의 전류가 흐르는 전력단 수가 줄어들어 효율이 크다는 장점이 있다.

### 1. 서론

태양광 발전 에너지를 포함하는 신재생 에너지 발전은 출력 전력이 일정하지 않기 때문에 많은 문제점이 생기며 이러한 문제점을 보완하기 위해서 충·방전기를 연결을 필요로 한다. 기존의 에너지 저장장치를 포함하는 전력조절기는 그림 1의 (a),(b) 그리고 (b)의 ①의 위치가 아닌 ②의 위치에 연결을 하는 전력조절기(b')가 있다. (a)의 전력조절기의 문제점은 독립운전을 할 경우, 에너지 저장장치의 에너지가 방전을 하며 인버터 동작을 하게 된다. 하지만 인버터 동작을 하기 위한 최소전압  $V_{dc}$  가 존재하기 때문에 매우 작은 범위 내에서 에너지 저장장치의 충·방전을 하게 된다. (b)의 전력조절기의 문제점은 방전을 하게 되는 경우, 에너지 저장장치의 전력이 부스트 컨버터를 통해 방전을 하기 때문에 효율이 떨어지며, 계통으로부터 충전을 할 수 없다는 단점이 있다. (b')의 전력조절기의 문제점은 태양 전지에서 전력 충전시 효율이 떨어진다는 단점이 있다. 본 논문에서 이러한 단점이 없는 그림2와 같은 전력조절기 구조를 제안한다. 제안하는 전력조절기는 그림1의 (a)와는 달리 인버터 동작에 의한  $V_{dc}$  값과는 별개이므로 전압에 제한이 없게 된다. 이로써, 충전된 배터리의 전력을 완전 방전할 수 있게 된다. 또한 배터리 충전시 흐르는 전류는 부스트 컨버터만을 통과하여 충전 전력손실이 적으며, 방전시에는 양방향 컨버터만을 통과하기 때문에 방전 전력손실이 적다. 본 논문에서는 P SIM시뮬레이션을 통해 제안하는 전력조절기를 350W급 태양광 모듈과의 동작시 각 소자에 흐르는 전류를 구하였고 이 전류값과 각 소자의 데이터시트에서 주어지는 값을 이용하여 각각의 손실을 구하였다.

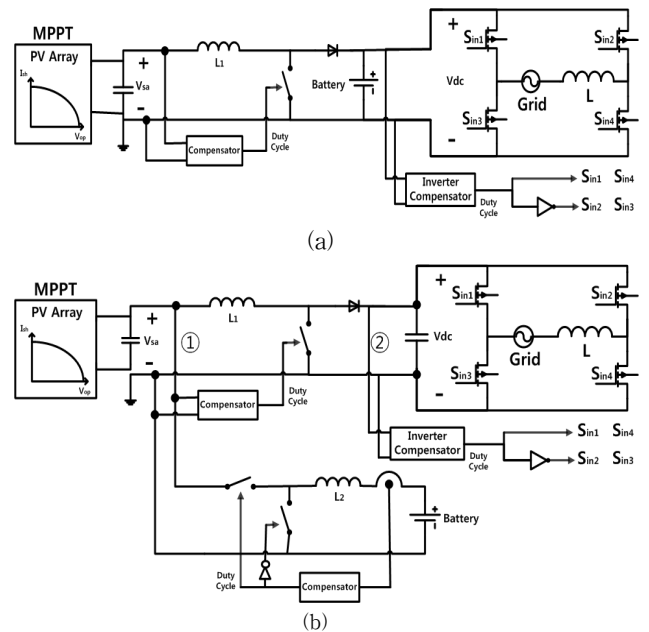


그림 1 기존의 에너지 저장장치를 포함하는 전력조절기 구조  
 (a) 직렬연결형  
 (b) 병렬연결형

Fig. 1 Converter circuit of the grid-connected power conditioning system including an energy storage device with a renewable source  
 (a) series type  
 (b) parallel type

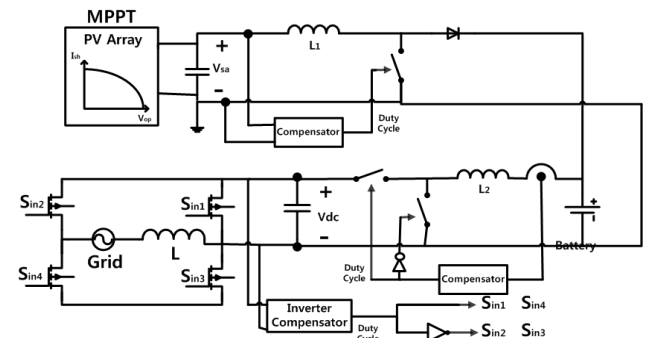


그림 2 제안하는 에너지 저장장치를 포함하는 전력조절기 구조  
 Fig. 2 Proposed converter circuit of the grid-connected power conditioning system including an energy storage device with a renewable source

## 2. 동작 특성

계통전압을 인버터 동작에 의해 전압값이  $V_{dc}$ 로 고정되어 있고 양방향 컨버터에서 전류 제어를 통한 충·방전 동작을 하여  $V_{battery}$ 를 일정 전압 부근으로 조절을 시킨다. 이 전압은 다음과 같다.

$$V_{ba} = I_{L2}r_{L2} - D_2' V_{out}$$

여기서  $D_2$ 는 FET1에서의 스위칭 PWM이다.

이렇게 정해진  $V_{battery}$ 를 기준으로 태양광 모듈 전압 제어 동작을 하여 MPPT동작을 하게된다. 이때의 모듈 전압은 다음의 전압비를 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{V_{out}}{V_{sa}} = \left( \frac{1}{1-D} \right) \left[ \frac{1 + (r_L/r_{sa})}{1 + \left( \frac{r_L/r_{sa}}{1-D} \right) \left( \frac{V_g}{V_{out}} \right)} \right]$$

## 3. 제안한 전력조절기 손실

제안한 전력조절기는 배터리 전압에 따라 효율이 달라지게 되는데 본 연구에서는  $V_{ba}=100V$  동작에 대한 분석을 배터리를 기준으로 단방향 부스트컨버터, 양방향 부스트컨버터로 나누어 실시하였다.

### 3.1 단방향 부스트컨버터에서의 손실 분석

단방향 부스트컨버터에서의 전력손실은 인덕터 기생저항의 손실, MOSFET 손실, 다이오드 손실이 있으며 이는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{L1} &= I_{L1(s)}^2 * r_{L1} \\ P_{FET} &= I_{q(s)}^2 * r_{ds(on)} \\ &+ V_{ds} * \left( I_{sa} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} \right) * \frac{t_r}{2} * f_s + V_{ds} * \left( I_{sa} + \frac{\Delta i_{L1}}{2} \right) * \frac{t_f}{2} * f_s \\ P_D &= V_{D(F)} * I_{d(avg)} + R_F * I_{D(s)}^2 \\ &+ \frac{1}{2} (V_{D(F)p} - V_{D(F)}) * I_{d(avg)} * t_r * f_s \\ &+ V_d * Q_{rr} * f_s \end{aligned}$$

### 3.2 양방향 부스트컨버터에서의 효율 분석

양방향 부스트컨버터에서의 전력손실은 인덕터 기생저항의 손실, 상단 MOSFET 손실, 하단MOSFET손실이 있으며 상단, 하단MOSFET손실에서는 스위치 자체 손실과, 기생다이오드 (body diode)에 의한 손실이 존재하게 된다. P SIM시뮬레이션을 통해 각 소자에서의 전류의 값을 보게 되면 충전시에는 FET1은 기생다이오드에서의 손실이 주며 스위치 자체 손실은 무시가능할 정도로 작으며 FET2에서는 기생다이오드의 손실은 무시가능하며 스위치 자체 손실이 주를 이루며 따라서 다음과 같이 손실을 구할 수 있다.

$$P_{L2} = I_{L2(s)}^2 * r_{L2}$$

$$\begin{aligned} P_{FET1} &= V_{bodyD(F)} * I_{bodyD(avg)} + R_F * I_{bodyD(s)}^2 \\ &+ \frac{1}{2} (V_{bodyD(F)p} - V_{bodyD(F)}) * I_{bodyD(avg)} * t_r * f_s \\ &+ V_{bodyD} * Q_{rr} * f_s \\ P_{FET2} &= I_{q(s)}^2 * r_{ds(on)} \\ &+ V_{ds} * \left( I_{sa} - \frac{\Delta i_{L2}}{2} \right) * \frac{t_r}{2} * f_s + V_{ds} * \left( I_{sa} + \frac{\Delta i_{L2}}{2} \right) * \frac{t_f}{2} * f_s \end{aligned}$$

배터리 방전에서도 P SIM시뮬레이션을 통해 각소자에서의 전류값들을 보게 되면 FET1은 기생다이오드에서의 손실은 무시가능할 정도로 적으며 스위치 자체 손실이 주를 이루며, FET2에서는 기생다이오드의 손실이 주를 이루며, 스위치 자체 손실은 무시 가능할 정도로 작음을 알 수 있다. 이에 따라 다음과 같이 손실을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{FET1} &= I_{q(s)}^2 * r_{ds(on)} \\ &+ V_{ds} * \left( I_{sa} - \frac{\Delta i_{L2}}{2} \right) * \frac{t_r}{2} * f_s + V_{ds} * \left( I_{sa} + \frac{\Delta i_{L2}}{2} \right) * \frac{t_f}{2} * f_s \\ P_{FET2} &= V_{bodyD(F)} * I_{bodyD(avg)} + R_F * I_{bodyD(s)}^2 \\ &+ \frac{1}{2} (V_{bodyD(F)p} - V_{bodyD(F)}) * I_{bodyD(avg)} * t_r * f_s \\ &+ V_{bodyD} * Q_{rr} * f_s \end{aligned}$$

### 3.3 손실 계산

손실계산시 적용한 소자들은 다음 표 1과 같으며 이들의 데이터시트에서 제공하는 정보들을 참고로 하여 제안하는 고효율 전력조절기에서의 전력손실을 구하였다.

표 1 시스템 소자값

table. 1 system parameter

단방향컨버터inductor	600uH
단방향컨버터MOSFET	IRF540
단방향컨버터diode	30CPQ080
양방향컨버터inductor	200uH
양방향컨버터MOSFET1,2	IRF740B

$$\begin{aligned} P_{L1} &\cong 5.8W, P_{FET} \cong 2.3, P_D \cong 2.8 \\ P_{L2} &\cong 4.3W, P_{FET1} \cong 19.8, P_{FET2} \cong 16.63 \quad \text{충전시} \\ P_{L2} &\cong 4.3W, P_{FET1} \cong 17.47, P_{FET2} \cong 20.99 \quad \text{방전시} \end{aligned}$$

## 4. 결 론

본 논문에서 태양광 발전용 에너지 저장장치를 포함하는 고효율 전력조절기를 제안하였고, 간단히 동작 특성에 대해 알아보았으며 P SIM 시뮬레이션을 이용하여 각 소자에서의 전류 값을 구하였으며 사용된 각 소자의 데이터 시트에서 제공되어지는 값들을 이용하여 제안한 전력조절기의 충·방전시의 손실 전력을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박선재, “에너지 저장장치를 포함하는 새로운 태양광 발전 전력조절기”, 숭실대학교 석사논문, 2011