

태양광 발전시스템의 컨버터 고장에 따른 보상운전기법

Fault tolerant control scheme for a converter in a photovoltaic system

박태식* · 허용호*** · 이광운** · 문채주* · 곽노홍*†
Park Tae-Sik*, Hur Yong-Ho***, Lee Kwang-Woon**,
Moon Chae-Joo*, and Kwak No-Hong*†

(Received 24 March 2016; accepted 19 July 2016)

Abstract : The demands for photovoltaic systems on a large scale have grown dramatically and require new technologies to get the high efficiency and reliable operations of power conversion systems. These needs can be realized by the cost-effective and high performance digital revolutions and faster semiconductor switching devices. However, the new power systems have been more sophisticated and their reliability becomes critical issues. In this paper, a new fault-tolerance power conversion scheme for the photovoltaic systems is proposed. The proposed fault-tolerant scheme is able to supply energy from solar panels to loads intermittently in spite of a front boost converter open failure, and its voltage and current controllers are designed to improve the transient performance by using an average model design scheme. The proposed approach is verified both by simulations. The results will enable more timely and wide usage of alternative/renewable energy systems resulting in increased energy security.

Key Words : 태양광발전 시스템 (Photovoltaic System), 고장 운전 (Fault-tolerant control), 개방형고장 (Open Falut)

1. 서 론

세계적으로 전력소비는 급격하게 증가하고

있고 미래 전력에너지의 부족과 화석연료에 의한 환경오염을 방지하고자 풍력, 태양광, 연료전지 등 다양한 형태의 대체에너지가 연구

*† 곽노홍(교신저자) : 목포대학교 전기및제어공학과
E-mail : nhk707@mokpo.ac.kr, Tel : 061-450-2463

*박태식, 문채주 : 목포대학교 전기및제어공학과

**이광운 : 목포해양대학교 전자공학과

***허용호 : 한국전력공사

*† Kwak No-Hong(corresponding author) : Department of Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.

E-mail : nhk707@mokpo.ac.kr, Tel : 061-450-2463

*Park Tae-Sik, Moon Chae-Joo : Department of Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.

**Lee Kwang-Woon : Department of Electronic Engineering, Mokpo National Maritime University

***Hur Yong-Ho : Korea Electric Power Corporation

되고 있다. 특히 풍력과 태양광 발전은 이러한 문제를 해결하기 위한 주요 수단으로 부각되고 있으며, 지역적 특성에 많은 영향을 받는 풍력과는 달리 설치 및 운영이 용이한 태양광 발전시장은 더욱 확대되고 있다. 신재생에너지 발전의 확대와 더불어 발전된 전력을 수용가에 적합한 전력의 형태로 변환하기 위한 전력변환 장치 역시 많은 발전이 있었다. 특히 디지털장치의 고성능화와 저가화 그리고 고속 스위칭이 가능한 반도체 스위칭소자의 발전은 이러한 변화에 큰 진보를 이끌어 왔다. 그러나 고발전비용, 비제어성, 신뢰성 등의 신재생에너지의 문제점에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 신재생에너지 발전시스템은 일반적으로 발전설비와 함께 전력변환장치 그리고 에너지를 저장하기 위한 에너지저장장치 및 전력을 효율적으로 운용하기 위한 관리시스템이 주요 구성을 이루고 있다. 에너지저장장치를 포함하는 태양광 발전시스템의 전력변환장치의 구성을 보면 태양전지모듈로부터 발전된 DC 전압을 고전압으로 변환하기 위한 부스트 컨버터, 발전된 전력을 저장하기 위한 양방향 컨버터와 배터리 그리고 계통 연계형 인버터를 포함하고 있다. 최근 컨버터, 인버터 등의 전력변환장치의 새로운 토폴로지와 제어방식에 대한 연구가 다수 발표되고 있으며 배터리를 포함한 발전시스템 운영에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 고효율화와 고성능의 전력변환장치를 구현하기 위해서는 보다 많은 반도체 스위칭소자를 포함하게 되고 시스템이 복잡화됨에 따라 고장 원인이 다양화되고 있다. 따라서 전력변환장치의 신뢰성은 전체 발전설비의 운용률에 직접적인 영향을 주는 요인으로서 고장 시 중단 없는 전력 공급을 위한 연구가 부각되고 있다. 연계형 인버터의 고장운전 방식은 다양한 접근 방법이 적

용되고 있으며 4 스위치 인버터^[1]와 같이 스위치 고장시 최소한의 인버터 성능을 유지하기 위한 방법이 다수 연구되고 있고, DC-DC 컨버터의 경우 기존 스위치 고장시 대응방안은 복잡한 토폴로지를 적용하거나, 컨버터의 병렬운전 또는 인터리빙 운전 등의 형태를 보이고 있으며, 이러한 방식들은 추가의 스위치를 사용하고 있고 구성이 복잡해 고장의 확률을 증가시키는 문제가 있다.^{[2][3]} 이에 본 논문에서는 태양광 전력변환장치의 개방형 스위치고장에 대한 운전신뢰성을 향상시킬 수 있는 새로운 고장운전기법을 제안하며 동작점 변화에도 우수한 전류 및 전압제어 특성을 가지기 위한 새로운 제어기 설계기법을 제안한다. 제안된 방식은 새로운 양방향 컨버터의 토폴로지를 태양광 시스템에 적용한 것으로서, 고장이 감지된 부스트컨버터의 기능을 중단시키고, 후단에 연결된 기존의 양방향 컨버터의 기능에 부스트컨버터의 기능을 수행하는 방식으로서 최소한의 추가적인 구성을 가지며 구조가 간단하여 유지보수 또한 용이하다. 제안된 방식의 동작과 성능을 확인하기 위해 PSIM 시뮬레이션 패키지를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 에너지저장장치를 포함하는 태양광 발전시스템

에너지저장장치를 포함하는 태양광 발전시스템은 그림 1과 같이 구성될 수 있다. 태양전지모듈에서 발전된 DC 전압은 부스트컨버터를 통해 승압되고 배터리에 에너지를 저장하기 위한 양방향 컨버터가 후단에 위치한다. 양방향 컨버터의 후단에는 승압된 DC 전압을 계통에 적합한 AC 전압으로 변환하기 위한 DC-AC 인버터가 위치한다. 양방향 컨버터는 배터리에 잉여전력을 저장하고 배터리에 저장

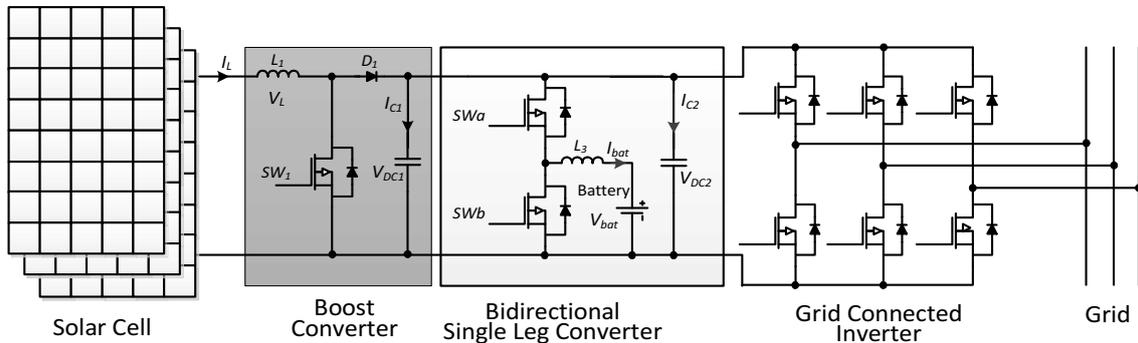


Fig. 1 Photovoltaic system with ESS

된 에너지를 승압하여 부하로 공급하는 기능을 수행하게 된다. 따라서 부스트 컨버터의 개방형 스위치고장이 발생되면 태양전지모듈로부터 발전되는 에너지의 부하로의 공급이 중단되고 배터리에 저장된 에너지만을 부하로 공급할 수 있기 때문에 최소한의 운전만이 가능한 단점이 있다. 일반적으로 스위치 자체의 개방형 고장의 빈도는 낮은 편이나 스위치를 동작시키기 위한 게이트 드라이브의 고장 빈도는 높은 비율을 차지하게 된다. 컨버터의 단락고장의 경우는 스위치를 교체하는 방법 이외에 고장대응 운전에 대한 기법은 전무한 상태로서 스위치 단락고장의 대처 방안은 여분의 스위치를 직렬로 포함하는 방법이 있다.^{[4]-[7]}

3. 제안된 태양광 발전시스템의 고장 운전 기법

제안된 태양광 발전시스템의 고장운전기법은 기존의 태양광 발전시스템에서 부스트 컨버터가 고장시 이를 후단에 연결된 양방향 컨버터를 사용하여 부스트 컨버터의 기능을 대체하는 방식이다.

3.1 제안된 태양광 발전시스템 고장운전기법의 구성 및 운전 기법

일반적으로 태양광 발전시스템의 부스트 컨버터의 스위치에 개방형 고장이 발생되면 부스트 컨버터의 스위치 구동을 위한 게이트 드라이브 PWM 기능을 차단하고 양방향 컨버터

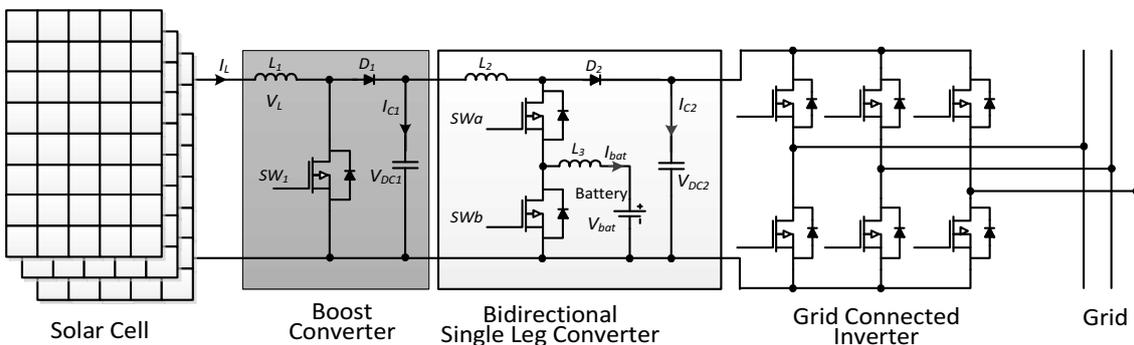


Fig. 2 Proposed fault-tolerant photovoltaic system

의 SW_a 를 온시키고, SW_b 에 PWM을 인가하여 양방향 컨버터를 배터리전압을 승압하여 부하로 에너지를 공급하기 위한 부스트 컨버터로 사용하게 된다. 그러나 태양전지로부터 발전되는 에너지는 더 이상 부하로 공급할 수 없게 되어 배터리에 저장된 에너지가 소모되면 부하로의 전력공급은 차단된다. 본 논문에서 제안된 고장운전기법의 구성은 그림 2와 같다. 제안된 방식에서는 양방향 컨버터의 입력단에 인덕터가 추가되고 출력단에 다이오드가 추가되어 있는 구성을 가지고 있으며, 태양전지모듈에서 발전된 전압을 승압하는 부스트 컨버터의 기능을 후단의 양방향 컨버터를 통해 대체하게 된다. 종래 방식과 유사하게 양방향 컨버터가 배터리 전압을 승압하기 위한 부스트 컨버터로 동작을 할 경우 SW_a 가 온되고, SW_b 에 PWM을 인가하여 구동시킨다. 또한, 양방향 컨버터가 배터리에 에너지를 저장하기 위한 벡 컨버터로 동작하기 위해서는 SW_b 를 오프시키고 SW_a 에 PWM을 인가하여 구동시킨다. 그러나 본 논문에서는 기존의 양방향 컨버터의 구동방식에 하나의 모드를 더 추가하여 태양전지모듈로부터의 발전된 전압을 승압하는 구성을 가지고 있다. 그림 3은 부스트 컨버터에 개방형 스위치 고장시 SW_a 와 SW_b 를 위한 PWM 파형이다. 그림 3에서와 같이 SW_a 와 SW_b 를 동시에 온/오프 구동을 하게 되고 양방향 컨버터는 두 개의 스위치가 동시에 온/오프되기 때문에 태양전지모듈에서 발전된 전압을 승압해주는 부스트 컨버터로 구동하게 된다. 또한, 양방향 컨버터의 중요한 기능 중에 하나인 배터리 충전을 앞단 부스트컨버터의 고장시에도 수행하기 위하여 T_{off_boost} 의 시간 동안 양방향 컨버터는 배터리 충전기로 동작한다. 그림 3에서와 같이 태양전지의 발전전압을 승압하기 위해 T_{on_boost} 의 시간을 소모하

고, 한주기중 나머지 시간에 SW_b 를 오프시키고 SW_a 에 PWM을 인가함으로써 배터리의 충전을 수행한다. 인덕터 L_2 와 배터리 전류의 형태는 그림 3과 같다.

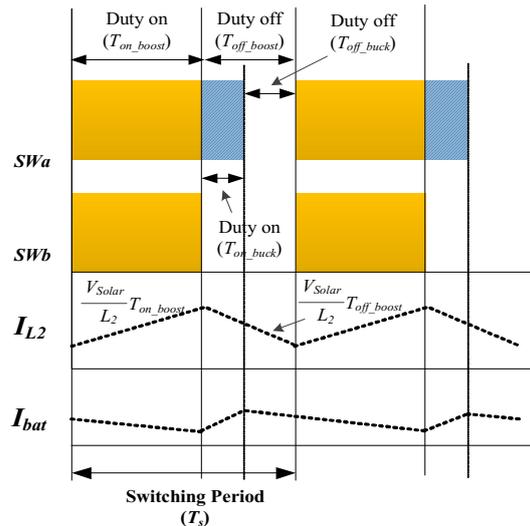


Fig. 3 PWM waveform of fault-tolerant operations

또한 그림 4는 고장시 태양전지모듈에서 발전된 전압을 부하측으로 부스팅하기 위한 고장운전모드의 온/오프 동작을 보여주고, 그림 5는 고장시 태양전지모듈에서 발전된 전압을 배터리로 충전하기 위한 충전모드를 보여준다. 그림 4, 5에서와 같이 부스팅 모드에서는 T_{on_boost} 와 T_{off_boost} 에 따라 SW_a 와 SW_b 가 동시에 온/오프되어 입력전압을 승압하게 된다. 충전모드는 T_{on_buck} 과 T_{off_buck} 에 따라 SW_a 가 온/오프되고 SW_b 는 오프상태를 유지한다. 따라서 하나의 제어주기 동안 양방향 컨버터는 태양전지 발전전압의 승압과 배터리 충전이 동시에 일어나게 되어, 앞단에 부스트 컨버터의 고장에 대해 부하측으로 중단 없는 전력공급을 가능하게 한다. 또한, 양방향컨버터의 부스팅 모드에서 인덕터(L_2)의 전류를 제어하기

위해서는 별도의 전류센서를 통해 인덕터(L_2) 전류를 측정해야 한다. 그러나 부스팅 모드에서 인덕터(L_2) 전류 만큼 캐패시터(C_1) 전압이 하강하고 인덕터(L_1)을 통해 발전된 에너지가 캐패시터(C_1)에 충전되기 때문에 인덕터(L_1)

전류가 인덕터(L_2)의 전류와 유사하다는 가정하에 부스팅 모드를 수행할 수 있다.

3.2 고장운전기법에 따른 양방향 컨버터의 제어기 설계

태양광 발전시스템의 부스트 컨버터가 고장이 발생되면 양방향 컨버터의 SW_a 와 SW_b 가 동시에 온/오프되어 부스트 컨버터의 역할을 대체하게 된다. 따라서 양방향 컨버터를 부스트 컨버터로 동작시키기 위해 고장운전을 위한 별도의 제어기가 필요하다. 특히 본 논문에서는 기존의 소신호 모델을 이용한 제어기설계법을 사용하지 않고, 새로운 부스트 컨버터의 제어기 설계기법을 제안한다. 기존의 동작점을 기준으로 부스트 컨버터의 제어를 설계할 경우 고장시 과도상태 제어가 불완전하게 되며, 특히 동작점 변동시 제어기의 특성이 설계치를 이탈하여 불완전한 제어성을 보이게 된다. 따라서 본 논문에서는 동작점을 중심으로 제어를 설계하는 것이 아니라 부스트 컨버터의 모델의 전류 평균값을 중심으로 제어를 설계함으로써 과도응답특성을 향상시킬 수 있으며 컨버터의 동작점이 변동될 경우에도 우수한 제어 성능을 확보할 수 있다.

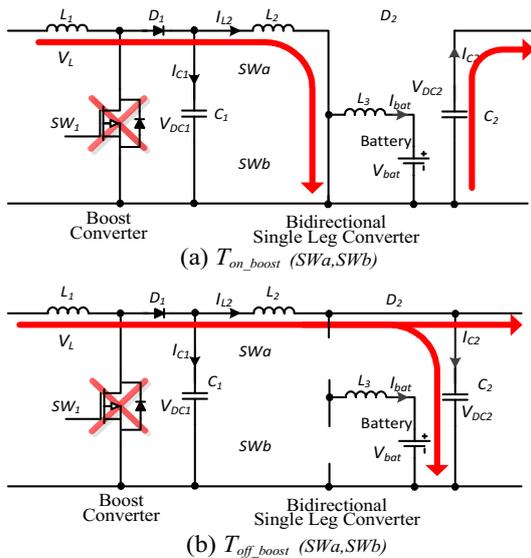


Fig. 4 Operations of boosting mode

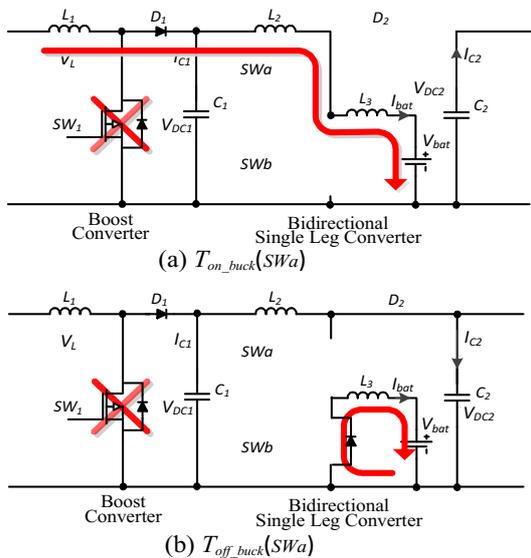


Fig. 5 Operations of battery charging mode

3.2.1 고장시 부스트 모드 제어기 설계

그림 4에서 양방향 컨버터가 앞단의 부스트 컨버터를 대체할 경우 인덕터(L_2)의 양단 전압은 (1)과 같다.

$$V_{L_2} = \begin{cases} V_{DC1} & : T_{onboost} \\ V_{DC1} - V_{DC2} & : T_{offboost} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 V_{L_2} , V_{Solar} , V_{DC2} 는 각각 인덕터 (L_2) 양단 전압, 태양전지모듈의 출력전압, DC 링크 전압이다. 인덕터의 양단전압의 평균치를 듀티를 사용하여 표현하면 (2)로 유도할 수

있다. $\langle \rangle$ 는 변수의 평균치를 의미한다.

$$\begin{aligned} \langle V_{L_2} \rangle &= V_{DC_1} \cdot D + (V_{DC_1} - V_{DC_2})(1-D) \\ &= V_{DC_1} \cdot D + (V_{DC_1} - V_{DC_2}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$D = \frac{\langle V_{L_2} \rangle - (V_{DC_1} - V_{DC_2})}{V_{DC_2}} \quad (3)$$

(2)로부터 듀티 D를 유도하면 (3)이 된다. 이때 인덕터(L₂) 기준전류와 인덕터(L₂) 전류의 전달함수를 구하면 (4)와 같다.

$$\frac{i_{L_2}}{i_{L_2}^*} = \frac{(k_{pL}s + k_{iL})}{L_2s^2 + (R_2 + k_{pL})s + k_{iL}} \quad (4)$$

여기서 R₂는 인덕터 L₂의 내부등가직렬저항을 의미하고, 만약 $k_{pL}/k_{iL} = L_2/R_2$ 이 성립된다면 전달함수에서 극점과 영점이 서로 상쇄되어 전달함수는 (5)와 같이 간략화될 수 있다.

$$\frac{i_{L_2}}{i_{L_2}^*} = \frac{(k_{iL}/R_2)/s}{1 + (k_{iL}/R_2)/s} = \frac{(k_{iL}/R_2)}{s + (k_{iL}/R_2)} \quad (5)$$

따라서 인덕터 전류제어기의 이득을 다음과 같이 선정하면, 인덕터의 기준평균전류와 인덕터 평균전류의 전달함수는 (6)의 1차 저역통과 필터로 등가될 수 있으며, $\omega_c = k_{iL}/R_2$ 이 된다.

$$\frac{\langle i_{L_2} \rangle}{\langle i_{L_2}^* \rangle} = \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \quad (6)$$

$$k_{pL} = L_2 \cdot \omega_{cc} \quad (7)$$

$$k_{iL} = R_2 \cdot \omega_{cc} \quad (8)$$

여기서 실제 시스템의 입력으로 듀티비를 고려한다면 (3)과 같이 인덕터 전류제어기의 출력을 인덕터 전압의 기준값으로 보고 듀티비를 유도할 수 있으며 인덕터(L₂) 전류제어 블록도는 그림 6과 같이 표현할 수 있다. 캐패시터 전압제어는 캐패시터에 충전전되는 전류를 제어함으로서 수행될 수 있다. 캐패시터에 흐르는 전류는 스위치의 온/오프에 따라 (9)와 같이 표현할 수 있으며, 캐패시터 전류의 평균치는 (10)과 같이 듀티를 이용하여 유도할 수 있다.

$$i_{C_2} = \begin{cases} -i_{load} & : T_{onboost} \\ i_{L_2} - i_{load} & : T_{offboost} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \langle i_{C_2} \rangle &= -i_{load} \cdot D + (i_{L_2} - i_{load})(1-D) \\ &= -i_{L_2} \cdot D + (i_{L_2} - i_{load}) \end{aligned} \quad (10)$$

정상상태에서 부스트 컨버터는 (11)과 같은 승압비를 가진다. 따라서 (11)과 (12)로부터 (13)과 같이 캐패시터 평균전류를 유도할 수 있다.

$$\frac{V_{DC_2}}{V_{DC_1}} = \frac{1}{1-D} \quad (11)$$

$$D = \frac{V_{DC_2} - V_{DC_1}}{V_{DC_2}} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \langle i_{C_2} \rangle &= i_{L_2} \cdot \frac{V_{DC_1} - V_{DC_2}}{V_{DC_2}} + (i_{L_2} - i_{load}) \\ &= \frac{V_{DC_1}}{V_{DC_2}} i_{L_2} - i_{load} \end{aligned} \quad (13)$$

(13)으로부터 인덕터 전류를 유도하면 (14)와 같다.

$$i_{L_2} = \frac{V_{DC_2}}{V_{DC_1}} (\langle i_{C_2} \rangle + i_{load}) \quad (14)$$

그림 7은 DC링크 전압을 제어하기 위한 제어 블록도이다. 그림 7로부터 기준 DC 링크전압과 DC링크 전압의 전달함수는 (15)과 같으며, 분모는 댐핑과 자연 주파수 성분을 가지는 일반적인 2차 시스템으로 표현할 수 있다. 따라서 전류제어의 이득은 (16)과 같이 선정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{V_{DC_2}}{V_{DC_2}^*} &= \frac{(k_{pC}/C_2)s + (k_{iC}/C_2)}{s^2 + (k_{pC}/C_2)s + (k_{iC}/C_2)} \quad (15) \\ &= \frac{(k_{pC}/C_2)s + (k_{iC}/C_2)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \end{aligned}$$

$$k_{pC} = 2C_2\zeta\omega_n, \quad k_{iC} = C_2\omega_n^2 \quad (16)$$

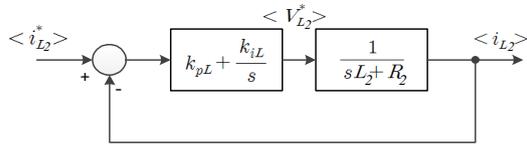


Fig. 6 Inductor current control

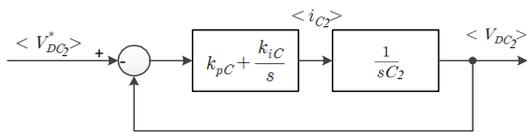


Fig. 7 DC link voltage control

그림 8은 양방향 컨버터의 고장운전시 승압을 위한 전체 제어 시스템 블록도를 보여준다. 그림에서와 같이 DC 링크전압의 기준값이 주어지면 PI 제어기를 통해 캐패시터 전류에 대한 기준값을 도출하고 도출된 캐패시터 전류의 기준값으로부터 인덕터 전류의 기준값을 유도한다. 후단의 전류제어부를 통해 인덕터

전류를 제어하고 (3)으로부터 PWM을 발생시키기 위한 듀티값을 계산해 낼 수 있다.

3.2.2 고장시 배터리 충전모드 제어기설계

그림 5에서 양방향 컨버터가 배터리를 충전할 경우 인덕터(L_3)의 양단 전압은 (17)과 같다.

$$V_{L_3} = \begin{cases} V_{DC_1} - V_{bat} - V_{L_2} & : T_{onbuck} \\ -V_{bat} & : T_{offbuck} \end{cases} \quad (17)$$

여기서 V_{L_2} , V_{L_3} , V_{DC_1} , V_{bat} 는 각각 인덕터 L_2 와 L_3 의 양단 전압, 태양전지모듈의 출력전압, 배터리 전압을 표시하고, 인덕터(L_3)의 양단전압의 평균치를 듀티를 사용하여 표현하면 (18)로 유도할 수 있다. $\langle \rangle$ 는 변수의 평균치를 의미한다. (18)에서 듀티를 유도하면 (19)가 된다.

$$\begin{aligned} \langle V_{L_3} \rangle &= (V_{DC_1} - V_{bat} - V_{L_2}) \cdot D \quad (18) \\ &\quad - V_{bat}(1 - D) \\ &= V_{DC_1} \cdot D - V_{bat} \end{aligned}$$

$$D = \frac{\langle V_{L_3} \rangle + V_{bat}}{V_{DC_1} - \langle V_{L_2} \rangle} \quad (19)$$

인덕터 L_2 의 양단전압은 동일 주기내에서 부스트 동작이 수행되기 때문에 부스트 모드에서의 $\langle V_{L_2} \rangle$ 를 제어기에서 사용할 수 있다. 또한, 인덕터 전류를 제어하기 위한 인덕터 전류 제어 블록도는 그림 6과 같이 동일하게 표현할 수 있다. 여기서 배터리 충전모드에서는 배터리충전전류와 인덕터전류가 동일하게 된다. 따라서 다음과 같이 배터리 충전전류의 평균값과 인덕터(L_3) 전류의 평균값은 동일하다고 볼 수 있다.

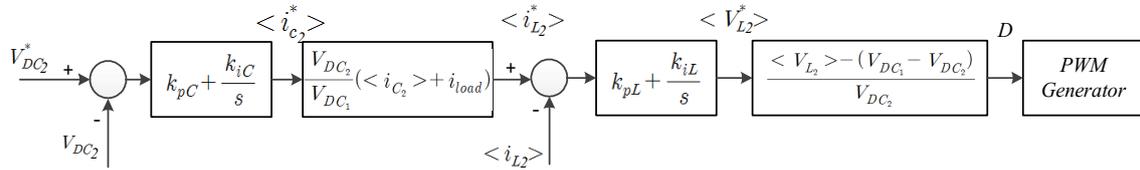


Fig. 8 Fault-tolerant boosting mode control of the bidirectional converter

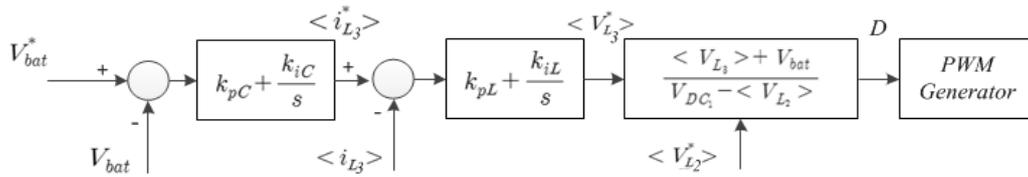


Fig. 9 Fault-tolerant battery charging mode control of the bidirectional converter

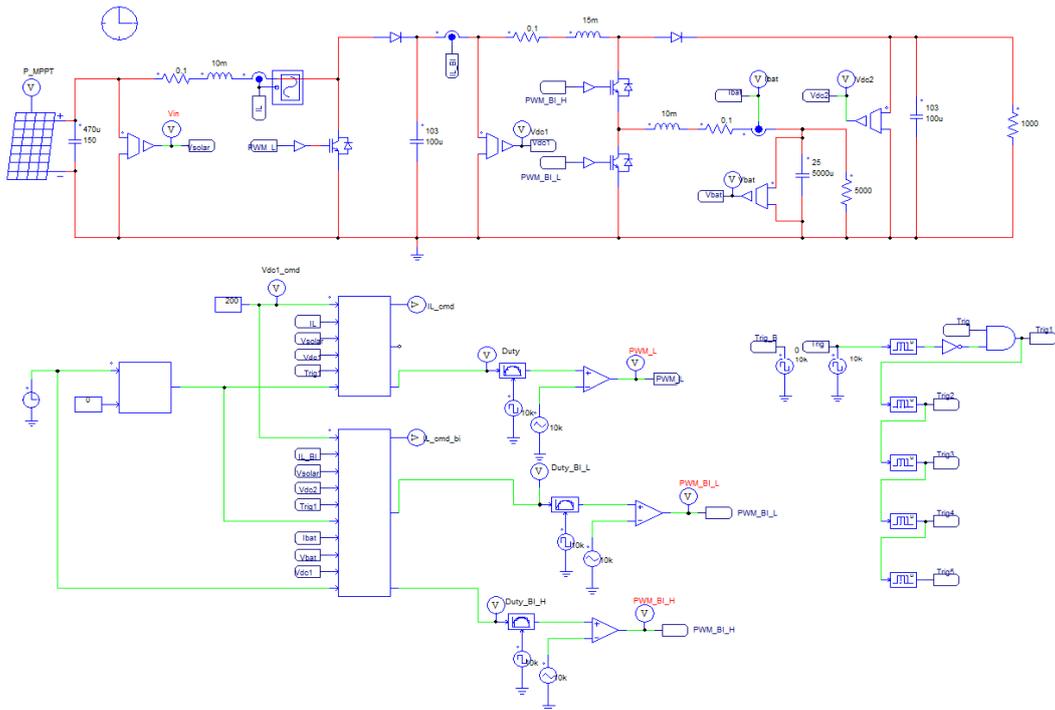


Fig. 10 PSIM simulation schematic

$$\langle i_{L_3} \rangle = \langle i_{bat} \rangle \quad (20)$$

동작시킬 때와 동일하며 전류제어기의 이득 역시 (7) 및 (8)과 유사하게 선정할 수 있다.

여기서 인덕터 기준전류와 인덕터전류의 전달함수는 양방향 컨버터를 부스트 모드로

여기서 실제 시스템의 입력으로 듀티비를 고려한다면 (19)와 같이 인덕터 전류제어기의

출력을 인덕터(L_3) 전압의 기준값으로 보고 듀티비를 유도할 수 있다. 또한, 배터리 충전 전압을 제어하기 위한 제어 블록도와 제어기 이득은 그림 7 및 (16)과 유사하며, 양방향 컨버터의 배터리 충전을 위한 전체 제어 블록도는 그림 9와 같다.

4. 제안된 태양광 발전시스템의 고장 운전 기법의 모의시험

제안된 태양광 발전시스템의 고장운전 기법은 PSIM을 이용하여 성능 및 특성을 확인하였다. 먼저 부스트 컨버터의 고장시 고장운전기법을 정상상태 운전과 비교하여 성능 및 과도응답 특성을 파악하였다. 그림 10은 전체 모의실험의 블록도를 보여준다. 태양전지모듈을 통해 발전된 전압은 부스트 컨버터와 양방향 컨버터를 통해 DC 링크 전압을 형성하고, 제어기는 전압제어와 전류제어를 수행하고 있다. 또한, 실제 승압된 전압은 연계형 인버터를 통해 계통에 연계되나 본 모의시험에서는 연계형 인버터는 제외하고 양방향 컨버터의 고장운전을 수행하였다. 그림 11에서와 같이 1초에서 부스트 컨버터의 고장이 발생된다고 가정하였으며, 고장이 검출된 직후 양방향 컨버터가 고장운전 모드로 진입하여 부스트 컨버터 모드로 수행하도록 하였다. 그림 11에 승압운전영역에서와 같이 부스트 컨버터의 고장발생시 양방향 컨버터는 부스트 컨버터 모드로 진입하여 고장대응 운전을 수행하고 고장이 발생하여도 중단없는 에너지 변환과 공급이 가능함을 알 수 있다. 또한 그림 11에서와 같이 2초에서 양방향 컨버터를 승압과 배터리충전이 동시에 수행되도록 하였으며 SW1이 고장나더라도 양방향 컨버터가 중단없이 승압과 배터리 충전 동작을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

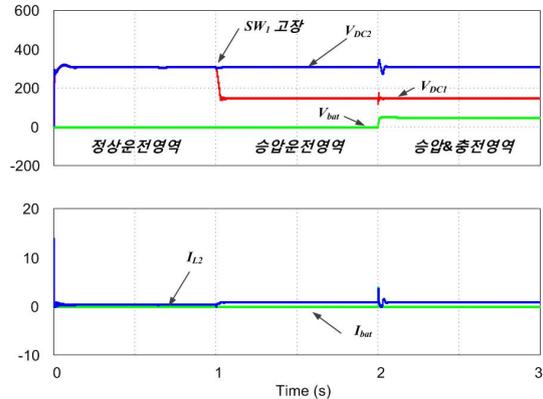


Fig. 11 Simulation of fault-tolerant operations

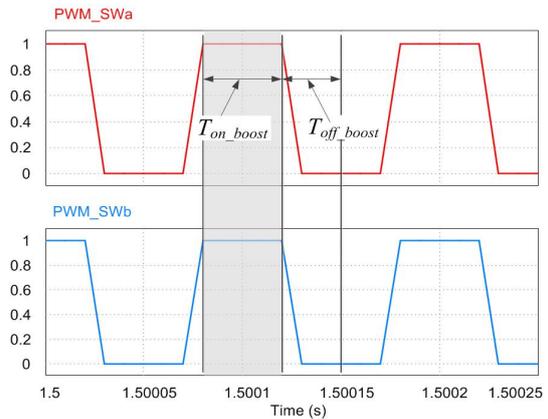


Fig. 12 Boosting mode PWM waveform

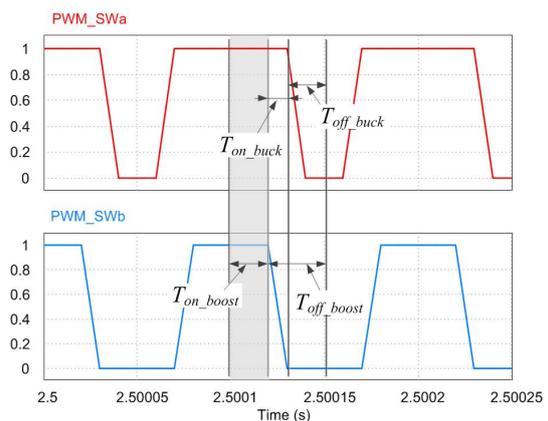


Fig. 13 Boosting and battery charging mode PWM waveform

그림 12는 양방향 컨버터의 고장운전시 승압모드에서 PWM 파형을 보여주며 SW_a 와 SW_b 과 동시에 통전하는 구간이 존재한다. 그림 13은 고장시 양방향 컨버터가 승압과 배터리 충전 운전을 수행할 때 PWM 파형이다. 그림에서와 같이 발전된 전압의 승압과 배터리의 충전이 한주기 내에서 동시에 수행되는 것을 알 수 있다. SW_a 와 SW_b 가 동시에 통전하는 구간과 T_{off_boost} 동안 SW_a 가 T_{on_buck} 만큼 추가로 온됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 부스트 컨버터 개방형 스위치고장에 따른 고장운전 기법을 제안하였다. 제안된 방식은 양방향 컨버터에 고장시 부스트 모드에 대한 운전이 가능하도록 하였으며 새로운 전압 및 전류 제어기를 제안함으로써 고장시 과도응답 특성을 향상시켰다. 제안된 방식은 PSIM을 이용한 모의실험을 통해 고장운전성능을 검증하였으며, 제안된 고장운전 방식은 태양광 발전시스템 뿐만 아니라 다양한 형태의 신재생에너지 적용가능이 매우 높음을 확인하였다. 본 방식은 추가로 인덕터와 다이오드가 포함되어 전체 효율이 감소되는 단점이 있으며, 향후 제안된 방식에서 인덕터를 추가하지 않고 부스트 컨버터의 인덕터를 활용하거나, 부스트컨버터의 캐패시터를 제거하여 인덕터의 추가를 회피하는 방안 등의 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2014학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

1. Bassem El Badsy, "DTC Scheme for a Four-Switch Inverter-Fed Induction Motor Emulating the Six-Switch Inverter Operation", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.28, No.7, p.3528, 2013
2. Yanming Li, "An Improved Hiccup Mode Short-Circuit Protection Technique with Effective Overshoot Suppression for DC-DC Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.28, No.2, p.877, 2013
3. Michale Gleissner, "Design and Control of Fault-Tolerant Nonisolated Multiphase Multilevel DC-DC converters for Automotive Power systems", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.52, No.2, p.1785, 2016
4. Shaoyong Yang, "An Industry-Based Survey of Reliability in Power Electronic Converters", IEEE Trans. on Industry Appl. Vol.47, p.1441, 2011
5. 조영민, 최주엽, 최익, 이영권, 조상윤, "태양광 연계형 ESS 및 UPS 하이브리드 시스템 설계", 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, p. 22, 2015
6. K. Kobayashi, H. Matsuo and Y. Sekine "Novel solar-cell power supply system using a multiple-input DC - DC converter", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 53, p.797, 2006.
7. Nijay Choudhary, "Fault Tolerant Circuit Topology and Control Method for Input-Series and Output-Parallel Modular DC-DC Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.23, No.1, p.402, 2008