

다수 모듈을 위한 셔플링 컨버터에서의 전류제한 기법

서정원¹, 이화석¹, 박종후¹, 조경호²
 숭실대학교¹, RTS 에너지²

Shuffling converter current limitation technique for the multiple modules

¹Jung Won Seo, ¹Hwa Seock Lee, ¹Joung Hu Park, ²Kyung HoCho
¹Soongsil university, ²RTS Energy

ABSTRACT

이 논문에서는 셔플링 컨버터를 이용해 다중 태양광 모듈의 최대 전력점 추종시 각 태양광 모듈간의 전류 편차에 의해 셔플링 컨버터에 과전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 태양광 모듈에서의 전류 편차를 이용해 셔플링 컨버터에서의 전류를 계산하는 법을 고안하고, 이를 이용해 전류를 제한하는 기법을 제안하였다. 제안하는 방식을 증명하기 위해 PSIM 소프트웨어를 이용하여 그 타당성을 입증하였다.

1. 서론

지구상에 쏟아지는 태양광 에너지의 양은 한 시간당 전 인류의 연간 에너지 사용량의 두 배가 될 정도로 방대한 양을 충족시킬 수 있다^[1]. 이를 이용한 발전에서의 전력 변환기 중 셔플링 컨버터의 경우 태양광 모듈에서의 전체 발전 전력 중 각 태양광 모듈간의 전류의 차이값만을 부담하며 태양광 모듈의 MPPT를 수행해 전력 편차가 발생하지 않을 시에는 동작을 하지 않으므로 에너지 회수율이 높고, 부담해야 하는 전력이 크지 않아 소자의 정격도 높지 않다^[2, 4].

하지만 셔플링 컨버터에서의 전류는 각 태양광 모듈에서의 출력 전류에 따라 상이하게 달라지므로 이를 고려한다면 컨버터에서의 소자 정격이 급격하게 커지게 되므로 이를 제한하기 위한 전류 제한 기법이 필요하다. 하지만 전류 제한을 위해 전류 센서를 쓴다면 셔플링 컨버터의 장점 중 하나인 낮은 정격의 소자 사용으로 인한 가격 절감이란 장점을 잃게 된다. 그러므로 셔플링 컨버터에서의 전류 추정을 이용한 전류 제한이 필요하다.

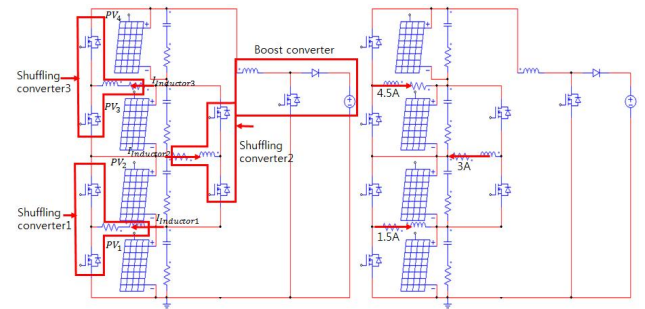
본 논문에서는 셔플링 컨버터에서의 전류를 각 태양광 모듈에서의 전류를 이용해 유도하고, 이를 이용해 전류를 제한하는 방법을 제안하였다. 이를 증명하기 위해 PSIM 소프트웨어를 이용하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 셔플링 컨버터에서의 전류 제한 기법

2.1 셔플링 컨버터에서의 전류

그림 1(a)는 셔플링 컨버터는 총 4개의 PV 모듈을 사용하였을 때의 회로도이며 PV1~PV3는 30V, 8A로 동작하고 PV4는 30V, 5A로 동작한다. 전체 태양광 모듈에서의 전압을 우측에 있는 Boost Converter가 제어하며, 태양광 모듈에 병렬로 결선되어 있는 셔플링 컨버터들은 각 태양광 모듈간의 전류 편차를 부담하여 각각의 태양광 모듈에서의 동작점을 결정하게 된다. 이 때의 전류는 그림 1(b)에서 보이는 바와 같이 아래쪽 셔플링 컨버터부터 증가함을 볼 수 있다. 이 값은 PSIM 시뮬레이션 시 각 컨버터에 고정 시비율을 인가한 정상상태에서의 셔플링 컨버터에서의 인덕터 전류의 평균값이

다.



(a) 결선도 (b) 인덕터 전류
 그림 1. 태양광 모듈형 셔플링 컨버터

이 때의 셔플링 컨버터에서의 전류는 각 태양광 모듈과 시스템 전류의 편차에 비례하므로 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 위해 쓰이는 전류 센서에서의 PV 전류와 추가로 센싱 받는 부스트 컨버터 측의 전류(I_{string})를 이용해 이를 유도 할 수 있으며 이때의 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I_{shuffler1_{Low}} &= I_{string} - I_{PV1} \\
 I_{shuffler1_{inductor}} &= 1/D'_1 \cdot I_{shuffler1_{Low}} \\
 I_{shuffler1_{High}} &= D_1 \cdot I_{shuffler1_{inductor}} \\
 I_{shuffler2_{Low}} &= I_{shuffler1} + I_{PV1} - I_{PV2} \\
 I_{shuffler2_{inductor}} &= 1/D'_2 \cdot I_{shuffler2_{Low}} \\
 I_{shuffler2_{High}} &= D_2 \cdot I_{shuffler2_{inductor}} \\
 I_{shuffler3_{Low}} &= I_{shuffler2} - I_{shuffler1_{High}} + I_{PV2} - I_{PV3} \\
 I_{shuffler3_{inductor}} &= 1/D'_3 \cdot I_{shuffler3_{Low}} \\
 I_{shuffler3_{High}} &= D_3 \cdot I_{shuffler3_{inductor}}
 \end{aligned}$$

위의 유도 식을 통해 추정된 전류 값과 실제 셔플링 컨버터의 전류 값이 일치한다면 각 셔플링 컨버터에 전류 센서를 추가적으로 결선 할 필요 없이 MPPT를 위해 태양광 모듈에 결선된 전류 센서와 추가적으로 부스트 컨버터의 입력단에 결선된 전류 센서만으로도 셔플링 컨버터의 전류 값을 추종하고, 전류 제한을 할 수 있다. 위의 식을 이용한 추종 값과 실제 전류 값의 파형은 그림4을 통해 확인 할 수 있다.

2.2 셔플링 컨버터에서의 전류 제한 기법

본 논문에서 제안하는 셔플링 컨버터 전류 제한 기법은 일정 이상의 전류 발생시 PV 모듈의 동작점을 OC(Open Circuit) 측으로 이동시켜 셔플링 컨버터의 전류를 제한하는 방법이며

이의 동작 방법은 그림 2과 같다.

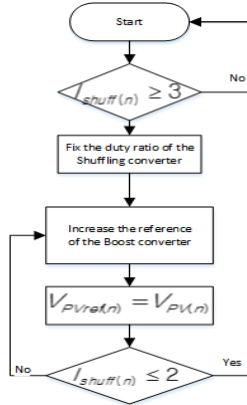


그림 2. 전류 제한 제어 플로우 차트

그림 2에 나와있는 바와 같이 셔플링 컨버터 내의 인덕터 전류가 3A보다 크지 않다면 셔플링 컨버터는 정상적인 동작을 수행하며, 3A보다 크게 되면 태양광 모듈의 동작점을 MPP(Maximum Power Point)에서 OC 방향으로 이동시키기 위하여 셔플링 컨버터의 Duty ratio를 고정한다.

그 이후 Boost converter의 전압 reference를 증가시켜 전체 PV 모듈의 동작점이 OC 방향으로 이동시킨다. 이때 변화하는 PV 모듈에서의 전압을 각 PV에서의 전압 레퍼런스에 계속해서 적용시킨다.

만약 셔플링 컨버터에서의 전류가 2A 이하로 감소한다면 프로텍션 상태에서의 각 태양광 모듈에서의 전압이 적용된 전압 레퍼런스를 이용해 정상 동작을 수행한다.

그리고 만약 전류가 2A 이하로 감소하지 않았다면 계속 전류 제한 제어를 수행한다.

3. 시뮬레이션

그림 3은 PSIM에서의 다중 모듈에서의 셔플링 컨버터의 전류 제한을 위한 제어단의 결선도이며 이 때의 전력단 결선도는 2.1절에서의 그림 1 (a)와 같다.

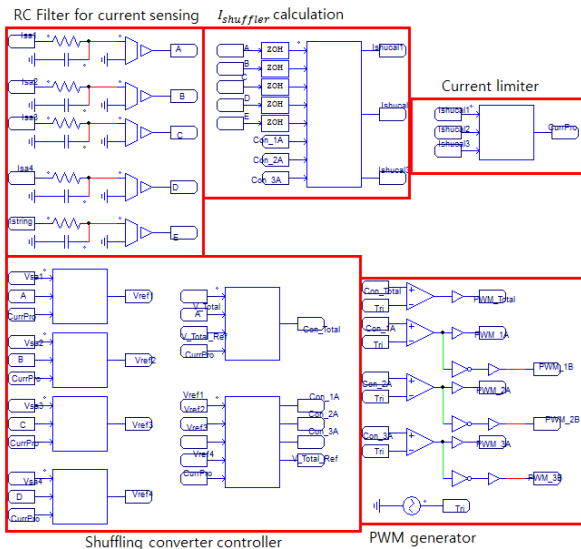


그림 3. 셔플링 컨버터 제어단 결선도

그림 1 (a)에서의 PV1~PV3는 MPP(Maximum Power Point)에서의 전압과 전류가 각각 30V, 8A이며 PV4는 일사량이 1000인 지점에서의 MPP에서의 전압 전류가 30V, 8A로부터 일

사량이 변화하고 있는 모듈이다.

그림 3에서의 윗부분은 전류 제한을 위한 부분이다. 위쪽에서의 가장 왼쪽 블록은 PV 모듈의 출력 전류와 부스트 컨버터의 입력 전류를 RC 필터를 이용해 평균화 시켜준다, 두 번째 블록은 전류와 셔플링 컨버터의 시비율을 받아 셔플링 컨버터의 전류를 계산한다. 다음 블록은 계산된 전류 정보를 받아서 전류 제한 제어의 수행 유무를 결정한다. 아래쪽에서의 왼쪽 블록은 셔플링 컨버터와 부스트 컨버터의 제어 부분이고 두 번째 블록은 PWM을 출력한다.

그림 4는 셔플링 컨버터의 전류 제한 제어에서의 주요 파형이다. 가장 위의 3개의 파형은 각각 셔플링 컨버터의 인덕터 전류인 $I_{Shuffler}$ 의 파형과 센싱 된 PV 모듈의 전류 값을 이용해 $I_{Shuffler}$ calculation 블록에서 계산된 셔플링 컨버터 내부의 인덕터 전류 $I_{Shuffler, Cal}$ 의 파형이고, 4번째 파형은 PV_4 의 일사량 파형, 5번째 파형은 각 PV 모듈의 전압 레퍼런스 V_{Ref} , 6번째 파형은 전류 제한 신호이다. 이를 보면, 2.1절에서 제안한 셔플링 컨버터 추정 식의 결과값이 실제 전류값과 일치하며 일사량 변화로 인한 전류의 변화를 추정해 전류값이 3A 이상이 될 시 전류 제한 제어가 수행 되어 각 PV 모듈의 동작점을 OC(Open Circuit) 측으로 이동시키는 것을 볼 수 있다.

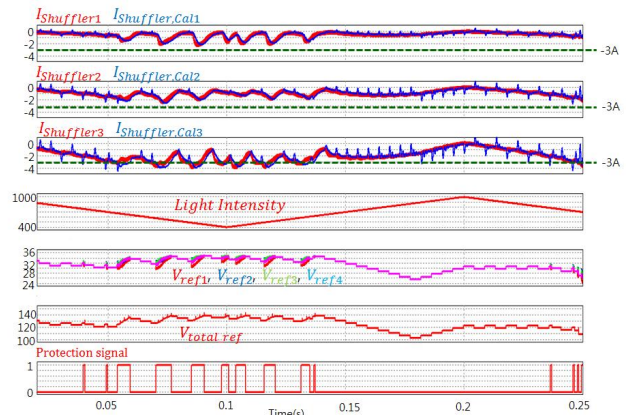


그림 4. 셔플링 컨버터의 전류 제한시 주요 파형

3. 결론

본 논문에서는 다중 태양광 모듈에서의 셔플링 컨버터 동작시 과전류를 방지하고 이를 위한 전류 센서의 수를 줄이기 위한 전류 추정 방법을 제안하였고, PSIM 시뮬레이션을 통해 이를 입증하였다.

참고 문헌

- [1] "Architectures and Control of Submodule Integrated DC DC Converters for Photovoltaic Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, 28, 2980-2997, 2013
- [2] Pradeep S Shenoy, Katherine A Kim, and Philip T Krein, "Comparative Analysis of Differential Power Conversion Architectures and Controls for Solar Photovoltaics", Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1, 7, 2012
- [3] 이화석 외 3인, "다중 태양광 모듈 발전 시스템에서 Shuffling converter 효율 분석", EMECS annual conference, 213-215, 2013, 4
- [4] 서정원 외 3인, "다중모듈을 위한 셔플링 컨버터에서의 최대 전력점 추종 기법", EMECS annual conference, pp.241-243, 2013, 4