

다중 태양광 모듈 발전 시스템에서 shuffling converter 캐패시터 설계

이화석¹, 서정원¹, 모하나¹, 박종후¹, 김정렬²
 송실대학교¹, RTS에너지²

Capacitor design of shuffling architecture for multi-module photovoltaic converter

Hwa Seok Lee¹, Jung Won Seo¹, Mohana Sundar¹, Joung Hu. Park¹, J. Y. Kim²
 Soongsil University¹, RTS energy²

ABSTRACT

다중 태양광 모듈 발전 시스템에서 부분 음영은 낮은 전력 회수율을 야기한다. 이러한 단점을 보완하는 방법으로 shuffling 컨버터가 각광을 받고 있다. 이 shuffling 컨버터 뿐만 아니라 모든 dc dc 컨버터는 제어를 하기 위해 각 태양광 모듈마다 capacitor가 필수적이다. 하지만 shuffling 컨버터는 다른 shuffling 컨버터 동작에 영향을 주게 되므로 이를 고려한 capacitor 설계가 필요하다. 이에 본 논문에서는 shuffling 컨버터에서 기생저항을 포함하는 capacitor에 흐르는 전류를 분석하여 전압 리플 및 capacitance값을 설계하였다.

1. 서론

태양광 발전 시스템은 온도 및 일사량의 조건에 따라 다른 발전 출력 특성을 가지며, 이와 같은 경우 각각의 MPPT (Maximum Power Point Tracking)를 하여 발전 전력을 회수한다. 하지만 하나의 인버터를 사용하기 때문에 가격이 저렴한 중앙집권형에서는 하나의 동작점을 가지고 있기 때문에 태양광 패널에 부분 음영이 생길 경우 모든 패널에서 MPPT를 할 수 없는 단점이 있다. 이런 단점을 해결하기 위해 제안된 방식은 bypass방식, 출력단 직렬연결(Module Integrated Converter) 변환 방식, shuffling 방식이 있다. bypass방식은 음영 진 패널의 전류를 병렬 연결된 다이오드로 바이패스 시킴으로써 음영 이치지 않은 패널의 MPPT를 회수하는 방식이며 가격이 저렴하다는 장점이 있지만, 음영 진 패널의 전력을 회수 할 수 없다는 단점이 존재한다. 출력단 직렬연결 변환 방식은 각 패널에 dc dc컨버터를 연결하는 방식이며, 모든 패널의 전력을 회수 할 수 있는 장점이 있지만, 각 패널의 수만큼의 dc dc컨버터가 필요하다는 단점이 존재한다. 마지막으로 shuffling 방식은 패널과 패널사이에 dc dc컨버터를 연결하는 방식이며, 출력단 직렬연결 변환 방식과 비슷한 장·단점이 존재한다. 하지만 shuffling방식은 출력단 직렬연결 방식과는 달리 DPP (Differential Power Processing)의 일종이므로 dc dc컨버터에 의한 손실이 적다는 장점이 있으며, 반면 패널에서 패널로 컨버터 동작을 함으로써 서로 영향을 끼치므로 설계가 어려운 단점이 있다.^[1]

따라서 본 논문에서는 다수의 shuffling 컨버터에서 기생저항을 포함하는 capacitor에서의 전류를 분석하였으며, 이를 적용하여 capacitance값을 설계하였다.

2. 동작원리

그림 1은 3개의 태양광 패널에 2개의 shuffling 컨버터를 적용한 시스템 회로도이다. 이 shuffling 컨버터는 배터리 충·방전에 사용하는 양방향 컨버터와 같다.^[2]

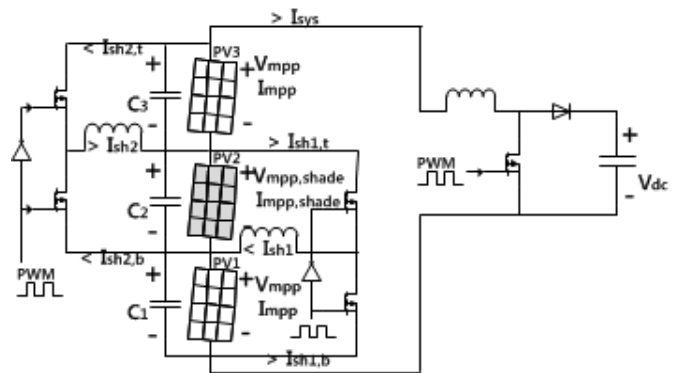


그림 1 shuffling 구조의 태양광 시스템 회로도.

Fig. 1 Shuffling architecture on PV system.

이 시스템에서 PV2에 음영이 생길 경우, 각각의 태양광 패널은 MPPT를 하며, 이때의 전력 차이가 shuffling 컨버터의 인덕터 전류(i_{sh1}, i_{sh2}), 바닥 스위치 전류($i_{sh1,b}, i_{sh2,b}$), 탑스위치 전류($i_{sh1,t}, i_{sh2,t}$)로 흘러 동작을 한다.^[3]

N개의 태양광 패널에 병렬 연결한 커패시터로 흐르는 전류 (AC+DC)는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 i_{c1} &= i_{PV1} + i_{sh1,b} - i_{sys} \\
 i_{c(N-1)} &= i_{PV(N-1)} + i_{sh(N-1),b} - (i_{sh(N-2)} + i_{PV(N-2)}) + i_{c(N-2)} \\
 &= i_{PV(N-1)} + (i_{sh(N-2),b} + i_{sh(N-1),b}) - i_{sh(N-2)} - i_{sys} \\
 &= i_{PV(N-1)} + i_{sh(N-1),b} - i_{sh(N-2),t} - i_{sys} \\
 i_{c(N)} &= i_{PV(N)} + i_{sh(N-2),t} - (i_{sh(N-1)} + i_{PV(N-1)}) + i_{c(N-1)} \\
 &= i_{PV(N)} - i_{sh(N-1),t} - i_{sys}
 \end{aligned}$$

여기서 i_{PV}, i_{sys} 에서 AC성분이 존재하지만, DC성분만이 존재하는 것으로 가정하였으며, capacitor에 흐르는 AC전류 파형은 $i_{sh,b}, i_{sh,t}$ 의 DC값을 제거하면 구할 수 있다. 그림2의 실선은 capacitor의 AC전류 파형이며, 점선은 $i_{sh,b}, i_{sh,t}$ 의 DC파형으로 $\bar{i}_{sh}/2$ 로 표현 할 수 있다. \bar{i}_{sh} 의 부호를 기준으로 shuffling

converter가 buck converter로 동작하면 (a), boost converter로 동작하면 (b)의 경우가 된다.

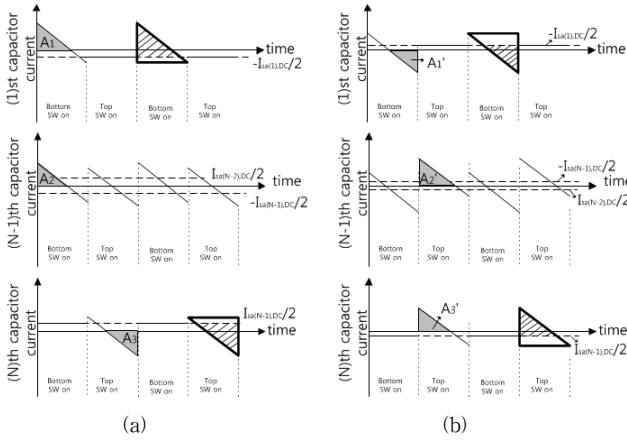


그림 2 N개의 태양광 모듈 수에서의 각 capacitor의 전류.

- (a) buck converter 동작 시 파형.
- (b) boost converter 동작 시 파형.

Fig. 2 capacitor current of N-th PV module.

- (a) waveform on buck-converter operating.
- (b) waveform on boost-converter operating.

capacitor에서의 리플 전압은 ac전류파형의 +성분 또는 성분의 적분 값 * (1/capacitance)으로 표현된다. capacitor 값을 설계하기 위해서는 결국 적분 값을 구해야 하며 (a)와 같이 buck converter 동작을 하는 경우 A_1 면적을 구하는 것이 간편하며, (b)와 같이 boost converter 동작을 하는 경우 A_1' 면적을 구하는 것이 간편하다. 첫 번째 capacitor 전류파형에서 빗금 삼각형의 높이 h_{k1} 를 구하면 (a)의 경우, $h_{k1} = i_{sh1} + \frac{\Delta i_{sh1}}{2}$ 이 되고 (b)의 경우 $h_{k1} = -i_{sh1} + \frac{\Delta i_{sh1}}{2}$ 이 된다. 이를 정리하면, $h_{k1} = |i_{sh1}| + \frac{\Delta i_{sh1}}{2}$ 표현할 수 있다. A_1 의 높이 $h_1 = h_{k1} - \left| \frac{\Delta i_{sh1}}{2} \right|$ 이므로 결국, $h_1 = |i_{sh1}| + \frac{\Delta i_{sh1}}{2} - \left| \frac{\Delta i_{sh1}}{2} \right|$ 표현된다. 이렇게 구한 높이 h_1 를 가지고 진한 삼각형과의 닮은비를 이용하여 길이 $l_1 = \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(1)}} * h_1$ 를 구할 수 있고, 결국 A_1 의 넓이를 구할 수 있다. 이와 마찬가지로 N번째 capacitor에서도 표현이 가능하다. N 1번째 capacitor의 경우 (a)는 $i_{sh(N-1)}$ 에 대해서, (b)는 $i_{sh(N-2)}$ 에 대해서 표현이 되는 것만 다를 뿐 비슷하게 구할 수 있다.

$$h_1 = h_{k1} - \frac{\Delta i_{sh1}}{2} = |i_{sh1}| + \frac{\Delta i_{sh1}}{2} - \left| \frac{\Delta i_{sh1}}{2} \right|$$

$$l_1 = \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(1)}} * h_1$$

$$A_1 = \frac{1}{2} * h_1 * l_1 = \frac{1}{2} * \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(1)}} * \left(|i_{sh1}| + \frac{\Delta i_{sh1}}{2} - \left| \frac{\Delta i_{sh1}}{2} \right| \right)^2$$

$$h_{(N-1)} = \begin{cases} h_{k2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} = \overline{i_{sh(N-1)}} + \frac{\Delta i_{sh(N-1)}}{2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} & (buck) \\ h_{k2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} = -\overline{i_{sh(N-2)}} + \frac{\Delta i_{sh(N-2)}}{2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} & (boost) \end{cases}$$

$$h_N = h_{k3} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} = \left| \overline{i_{sh(N-1)}} \right| + \frac{\Delta i_{sh(N-1)}}{2} - \left| \frac{i_{sh(N-1)}}{2} \right|$$

$$\Delta V_{c(t)} = \frac{1}{C_1} * \frac{1}{2} * \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(1)}} * \left(\left| \overline{i_{sh(1)}} \right| + \frac{\Delta i_{sh(1)}}{2} - \left| \frac{i_{sh(1)}}{2} \right| \right)^2$$

$$\Delta V_{c(N-1)} = \begin{cases} \frac{1}{C_{N-1}} * \frac{1}{2} * \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(N-1)}} * \left(\overline{i_{sh(N-1)}} + \frac{\Delta i_{sh(N-1)}}{2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} \right)^2 & (buck) \\ \frac{1}{C_{N-1}} * \frac{1}{2} * \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(N-2)}} * \left(-\overline{i_{sh(N-2)}} + \frac{\Delta i_{sh(N-2)}}{2} + \frac{i_{sh(N-2)}}{2} - \frac{i_{sh(N-1)}}{2} \right)^2 & (boost) \end{cases}$$

$$\Delta V_{c(N)} = \frac{1}{C_N} * \frac{1}{2} * \frac{T_{sw}/2}{\Delta i_{sh(N-1)}} * \left(\left| \overline{i_{sh(N-1)}} \right| + \frac{\Delta i_{sh(N-1)}}{2} - \left| \frac{i_{sh(N-1)}}{2} \right| \right)^2$$

3. 시뮬레이션

본 논문에서 구한 capacitor의 ac전류 성분을 PSIM 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 7개의 태양광 패널에 6개의 shuffling 컨버터가 연결된 시스템에 대해 알아보았다. 그림4는 2개의 음영이 생긴 태양광 패널($V_{MPP} = 29/4A$)과 5개의 음영이 생기지 않은 태양광 패널($V_{MPP} = 30/8A$)에 대해 (a)는 음영이 생긴 태양광 패널이 1 2번에 존재하여 buck converter 동작을 하는 경우이며, (b)는 6 7번에 존재하여 boost converter 동작을 하는 경우로써, i_{c1}, i_{c4}, i_{c6} 의 시뮬레이션 전류 파형은 다음과 같다.

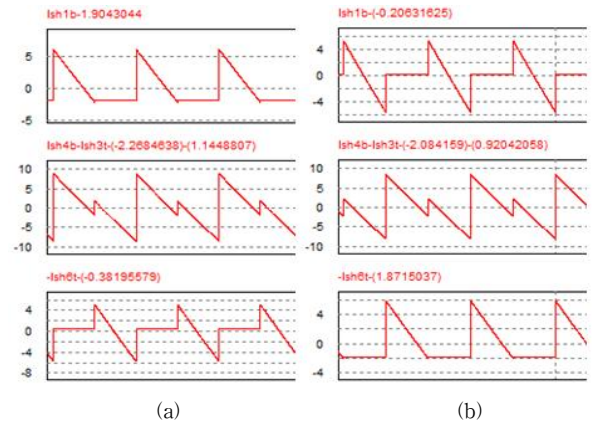


그림 3 1,4,6번째 capacitor의 AC 전류.

- (a) 1,2번째 태양광 패널에 음영이 생긴 경우.
- (b) 6,7번째 태양광 패널에 음영이 생긴 경우.

Fig. 3 ac current of 1,4,6th capacitor.

- (a) shaded at 1,2th photovoltaic.
- (b) shaded at 6,7th photovoltaic.

4. 결론

본 논문에서는 시스템 효율이 좋은 shuffling 구조의 컨버터에서, 음영이 지는 경우의 각각의 PV capacitor에 흐르는 전류를 분석하였다.

참고 문헌

- [1] Pradeep S. Shenoy, Katherine A. Kim, Philip T. Krein, "Comparative Analysis of Differential Power Conversion Architecture and Controls for Solar Photovoltaics", Control and Modeling for Power Electronics, pp.1 7 2012
- [2] 이화석 외 3인, "다중 태양광 모듈 발전 시스템에서 Shuffling converter 효율 분석", EMECS annual conference, pp.213 215, 2013. 4
- [3] 서정원 외 3인, "다중모듈을 위한 셔플링 컨버터에서의 최대 전력점 추종 기법", EMECS annual conference, pp.241 243, 2013. 4