

태양광 발전시스템에서의 벅 컨버터 소신호 모델링과 제어기 설계

정승환*, 최익*, 최주엽*, 송승호*, 이상철**, 이동하**

*광운대학교, **대구경북과학기술원

Small-Signal Modeling and Controller Design of Buck Converter for Photovoltaic Power Conditioning System

Jung, Seung-Hwan*, Choy, Ick*, Choi, Ju-Yeop*, Song, Seung-Ho,

Lee, Sang-Cheol**, Lee, Dong-Ha**

*Kwangwoon University(seungwhan1@hotmail.com)

**Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 발전시스템에서 사용되는 벅 컨버터의 새로운 모델을 제시하고, 선형화하여 모델링하였다. 이 모델을 통하여 전류와 전압 제어를 설계하고, 그 특성을 MATLAB 과 PSIM으로 모의실험하여 검증하였다.

1. 서론

태양광 발전시스템에서의 DC/DC 컨버터는 안정된 출력 전압/전류를 얻기 위하여 필수적인 요소이다. 이런 DC/DC 컨버터의 제어를 설계하는 것은 정확한 컨버터의 모델에 입각해야만 한다. 하지만 대개 일반적인 컨버터의 모델을 사용하여 제어를 설계하고 있으며, 이렇게 설계한 제어기가 좋은 성능을 가지기 힘들고, 동작에 부담을 주게 된다.

본 논문에서는 태양광 발전시스템에서 사용되는 벅 컨버터의 새로운 모델을 제시하고, 선형화하여 모델링하였다. 태양전지의 전압/전류를 제어하게 되므로, 일반적인 벅 컨버터의 모델과는 다르게 입력과 출력이 바뀌게 된다. 또한, 이 모델을 사용했을 때의 장점은 MPPT의 과정을 시뮬레이션 할 수 있으며, 그 결과 응답특성들을 고찰할 수 있다는 것이다.

이 모델로 전류/전압제어기를 이중루프로 구성하고, PI제어기를 설계하였다. 제어기 설계를 위하여 MATLAB을 사용하였으며, PSIM으로 모의실험을 통하여 검증하였다.

2. 모델링

벅 컨버터의 정확한 모델링을 위하여 입력단의 태양전지 선형모델이 필요하다. 하지만, 일반적인 태양전지의 매개변수형 모델은 비선형모델이므로, 테일러급수로 선형화하고 등가회로로 나타내었다. 이는 그림 1의 왼쪽과 같이 전압원과 저항으로 표시된다.^{[1][2]}

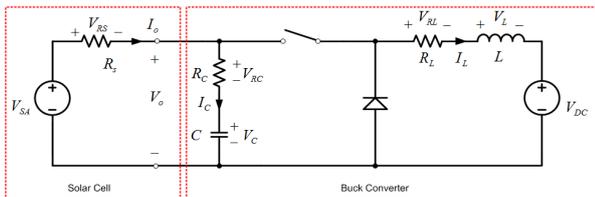


그림 1 벅 컨버터 모델과 태양전지 모델
Fig. 1 Buck Converter Model and Solar Cell Model

그림 1의 오른쪽은 벅 컨버터의 모델로서, 각 LC소자는 ESR을 포함한다. 또한, 출력단을 정전압원으로 가정한다. 실제로 태양광 발전시스템에서의 벅 컨버터의 출력단은 태양전지의 MPPT를 위해서 정전압원의 역할을 해주어야 한다. 스위치는 간단하게 듀티비를 곱한 형태로 선형화하였고, 각 전압/전류 방정식을 풀어낸 최종 전달함수는 다음 수식 1, 2와 같다.

$$\frac{\hat{i}_L(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{V_c R_c C \left(1 + \frac{R_c}{R_s}\right) s^2 + V_c C \left(1 + \frac{2R_c}{R_s}\right) s + \left(\frac{V_c}{R_s} + I_L D\right)}{LC \left(1 + \frac{R_c}{R_s}\right) s^2 + \left(R_L C + \frac{R_L R_c C + L}{R_s}\right) s + \left(D^2 + \frac{R_L}{R_s}\right)} \quad (1)$$

$$\frac{\hat{v}_{pv}(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{R_s R_c C I_L s^2 + R_s (L I_L + R_c R_L D I_L + R_c C D V_c) s + R_s (R_L I_L + D V_c)}{LC (R_s + R_c) s^2 + (R_s R_c C + R_L R_c C + R_s R_c C D^2 + L) s + R_L + R_s D^2} \quad (2)$$

3. 제어기 설계와 시뮬레이션

제어기의 구성은 아래 그림 2와 같다. $i_L(s)$ 와 $v_{pv}(s)$ 를 제어하는 이중루프로 하고, 안쪽 루프는 인덕터에 흐르는 전류제어기, 바깥쪽 루프는 태양전지의 전압제어기로 구성하였다. 각 제어기는 간단한 PI 제어기를 설계하였다.^[1]

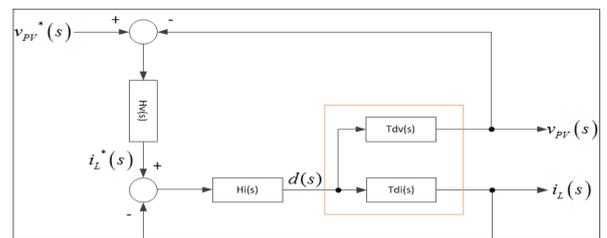


그림 2 제어기 구성도
Fig. 2 Block Diagram of the Controller

3.1 전류/전압 제어기

전류제어기는 절점 주파수를 약 2kHz 대역으로 하여, PI 제어기로 설계하였다. 시스템의 보데선도는 아래 그림과 같다. 이때, 시스템의 개루프 전달함수 $G_{oi}(s)$ 는 $H(s)Tdi(s)$ 이며, 그림 3에 각 전달함수에 대한 보데선도를 도시하였다.

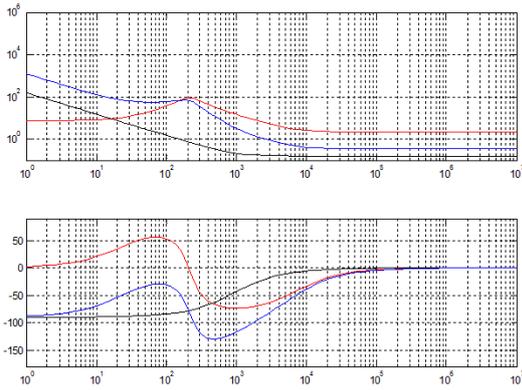


그림 3 전류제어기의 보데선도 (Tdi(s), Hi(s), Goi(s))
Fig. 3 Bode Plot of the Current Controller

전압제어기는 절점 주파수를 약 200hz 대역으로 하여, 전류 제어기와 마찬가지로 PI 제어기로 설계하였다. 시스템의 개루프 전달함수는 아래 수식 3과 같다.

$$G_{ov} = H_v(s) \frac{H_i(s)}{H_i(s)T_{di}(s)+1} T_{dv}(s) \quad (3)$$

그림 4에 각 전달함수에 대한 보데선도를 도시하였다.

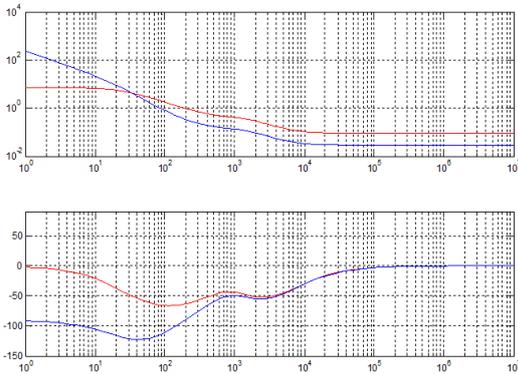


그림 4 이중루프 제어기의 보데선도 (Tdv(s), Gov(s))
Fig. 4 Bode Plot of the Double Loop Controller

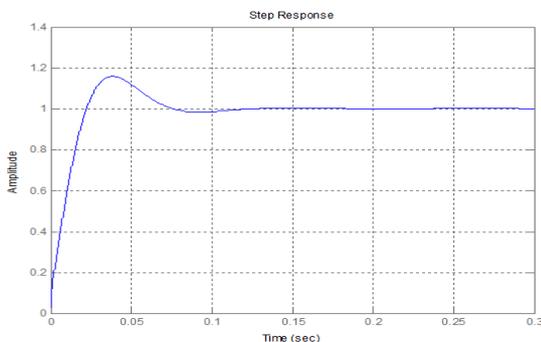


그림 5 이중루프 제어기의 스텝응답
Fig. 5 Step Response of the Double Loop Controller

그림 5는 설계된 제어기의 스텝응답으로, 오버슈트가 15%정도 발생하며, 0.1s내에 안정되는 모습을 살펴볼 수 있다. 이렇게 설계된 제어기를 PSIM에서의 회로에 적용하여 같은 특성을 가지는지 확인하여 모델링이 정확함을 검증한다.

3.2 모의실험

모의실험은 아래 그림 6과 같이 PSIM으로 도면을 작성하여 수행하였다. 제어기 설계시의 파라미터 값을 대입하여 동일한 특성을 가지는지에 주안점을 두었으며, v_{pv} 의 기준값을 25V에서 35V로, 다시 25V로 스텝으로 변동하였다. 그림 7은 결과 파형으로서 설계한 제어기의 값이 안정함을 알 수 있으며, 가운데 v_{pv} 의 파형과 그림 5의 v_{pv} 의 특성이 동일함을 검증하였다.

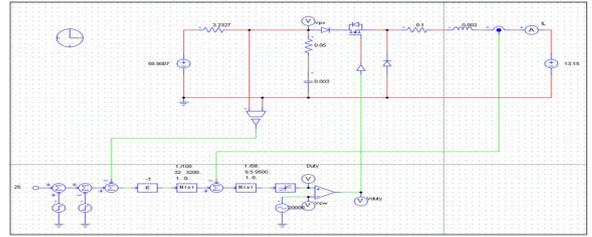


그림 6 PSIM 모의실험 회로
Fig. 6 Simulation Schematics using PSIM

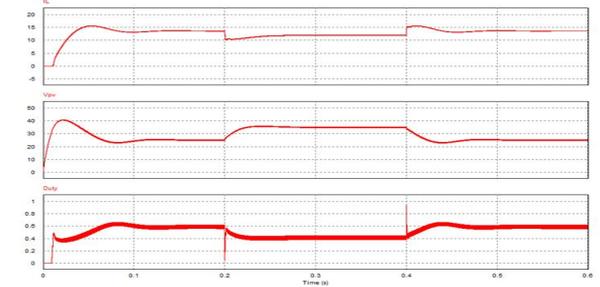


그림 7 PSIM 모의실험 결과 파형 (IL, Vpv, duty)
Fig. 7 Simulation Result using PSIM

4. 결론

본 논문에서는 태양광 발전시스템에서 사용되는 벽 컨버터의 새로운 모델링을 제시하고, 전류/전압제어기를 이중루프로 구성하여 PI제어기를 설계한 후, 이를 MATLAB과 PSIM을 사용하여 검증하였다. 제어기의 설계값에 따라 동일한 특성을 가짐을 알 수 있었다. 추후, 실제 비선형 태양전지 모델을 적용하여 모의실험하여 검증하고, 실제 실험에 적용하여 검증해야 하는 단계가 남아있다.

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 일반사업(12 BD 0101)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 태양광발전시스템에서의 벽 컨버터 모델링, 정승환, 최익, 임지훈, 최주엽, 송승호, 안진웅, 이동하, 한국태양에너지학회 2010년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 322~327
- [2] Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T., Osakada, M., "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, Volume: 10 Issue: 2, Publication Year: 1995, Page(s): 360-367