

PV용 부스트 컨버터에서 상태궤환 제어를 사용한 단일제어루프 알고리즘 연구

변병주, 서현욱, 이영진, 한동화, 최종목, 반충환, 최규하
건국대 전력전자연구소

Single Loop Algorithm Using State Feedback Controller for Boost Converter of PV System

Byeng Joo Byen, H.U. Seo, Y. J. Lee, D.H. Han, J.M. Choi, C.H. Ban, G.H. Choe
Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

A feedback control algorithm for the input voltage control of boost converter is proposed in this paper. The proposed control system is mathematically formulated such that the state feedback gains. The control algorithm does not rely on manual tuning procedures neither use complex adaptive techniques. For the verification of the proposed control algorithm, simulation results of the proposed algorithm using PSIM 9.0 are given.

1. 서 론

현재 보편화된 태양광용 PCS의 경우 부스트 컨버터와 인버터를 사용하는 2 stage 구조를 많이 사용하고 있다. 이러한 구조는 태양전지에서 발전되는 전력이 일사량이나 온도에 따라 다르며 가변되는 성질을 보완 해주기 위하여 부스트 컨버터를 사용하여 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 하기 위함이다. 이를 위하여 부스트 컨버터에서는 태양전지가 전류원 역할을 하기 때문에 입력단 전압을 제어해줌으로써 최대 전력을 발전하게 해준다.[1]

부스트 컨버터에서는 입력단 전압제어를 하기 위하여 보편적으로 PI제어기를 사용한 이중 루프 제어를 사용한다. 이중 루프 제어는 전압루프와 전류루프에 각각 PI제어기를 사용하여 제어를 하는 방법을 뜻한다. 이러한 경우 PI제어기의 제어 게인 값을 정하기 위하여 극배치 기법을 사용하여 정하게 된다. 하지만 이러한 경우 대개 해석적이지 못하기 때문에 게인튜닝을 해야 한다는 단점이 있다.[2]

본 논문에서는 상태궤환 제어를 사용하여 부스트 컨버터에서 입력단 전압을 제어하는 단일루프 알고리즘에 대하여 연구하였고, 제어 게인을 해석적으로 도출할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. 상태궤환 제어를 사용한 단일루프 알고리즘 설계

그림1은 태양광 PCS에서 부스트 컨버터를 나타내고 있다. 태양광 PCS에서는 입력단 전압에 제어를 하기 때문에 입력단에 대하여 전압 전류 방정식을 아래 식 (1), (2)와 같이 나타낼

수 있다.

$$i_{sol} = C_{sol} \frac{dv_{sol}}{dt} = i_{sol1} - i_{sol} \quad (1)$$

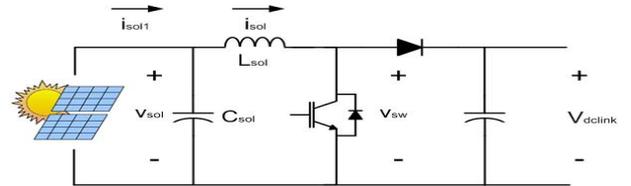


그림 1 부스트 컨버터

Fig. 1 Boost converter

$$V_{sol} = L_{sol} \frac{di_{sol}}{dt} = v_{sol} - v_{sw} \quad (2)$$

여기서 i_{sol1} 과 v_{sw} 는 컨버터의 측면에서 고려해 볼 때 각각 시스템의 입력으로 볼 수 있고, 이것을 고려하여 상태방정식의 형태로 표현하면, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{sol} \\ \dot{v}_{sol} \\ \dot{v}_{sw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L_{sol}} \\ -\frac{1}{C_{sol}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sol} \\ v_{sol} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_{sol}} \\ 0 \end{bmatrix} v_{sw} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{C_{sol}} \end{bmatrix} i_{sol1} \quad (3)$$

이 상태 방정식에서 시스템의 입력단 전압제어를 하기 위하여 PI 제어기를 설계해야 하는데, 먼저 승압컨버터의 전달함수를 보면 2차로 나타나기 때문에 PI 제어기를 적용하게 되면 전달함수가 4차가 되어 해석적으로 게인 값을 계산하기 어렵다. 따라서 적분 제어기만을 사용하여 정상상태오차를 없애지도록 식 (4)와 같이 상태방정식을 다시 쓸 수 있다. 실제로 상태방정식에서 궤환되는 상태변수는 V_{sw} 와 같다고 볼수 있고 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{sol} \\ \dot{v}_{sol} \\ \dot{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L_{sol}} & 0 \\ -\frac{1}{C_{sol}} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sol} \\ v_{sol} \\ p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_{sol}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} v_{sw} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{C_{sol}} & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sol} \\ v_{sol} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$v_{sw} = -[g_1 \ g_2 \ g_3] \begin{bmatrix} i_{sol} \\ v_{sol} \\ p \end{bmatrix} \quad (5)$$

그림 2는 상태궤환 제어기를 사용한 단일루프알고리즘을 나타내고 있다. 앞서 설정한 것과 같이 제어루프는 입력전압의 오차성분을 없애기 위하여 I제어기만을 사용하며, 상태변수를 궤환하여 알고리즘이 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.

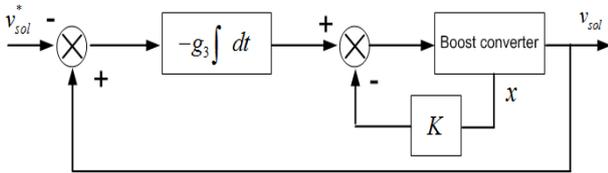


그림 2 제어 알고리즘
Fig 2. Control algorithm

여기서 상태궤환제어기의 제어상수를 구해야하는데 이것은 위에서 구한 상태방정식을 통하여 시스템의 특성방정식을 구하고, 설계하고자하는 시스템의 특성방정식을 정하여 두 식이 같아지도록 하여 구하면 된다.

3. 해석 및 결과

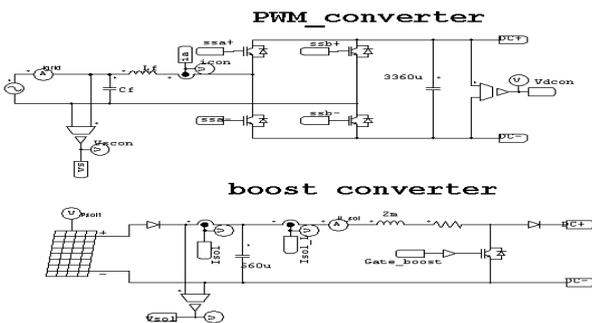


그림 3 시뮬레이션 회로도
Fig 3. Simulation circuit

본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 태양광 PCS의 동작을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 툴은 PSIM9.0을 사용하였고, 그림 3과 같이 구성하였다. 이 시스템의 정격은 3[kW]이고, 입력 정격은 280[V]이다. 부스트 컨버터의 스위칭 주파수는 20[kHz]로 선정하였으며, 입력 인덕턴스는 2[mH]로 선정하였고, 입력단 커패시터의 크기는 650[uF]으로 선정하였다.

그림 4는 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 한 파형이다. 본 알고리즘은 신재생에너지의 최대출력을 만들기 위하여 입력단의 전압제어를 하는 구조를 갖는다. 따라서 외부의 조건이 변동하여도 최대출력점의 전압을 일정하게 유지 할 수 있어야한다. 본 시뮬레이션에서는 최대출력점의 전압을 280[V]로 선정하여, 정전압으로 입력단을 제어했을 때 제어기의 안정도가 높은지 판단하기 위해 일사량의 변동이 발생한 경우 가정하여 시뮬레이션을 하였다. 여기서 일사량은 3가지 경우로 나뉘고, 일사량이 최대일 경우, 일사량이 최대의 반만 나올 경우, 일사량이 거의 없을 경우로 나누어서 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 4(a)는 부스트 컨버터의 입력전압을

나타내고 있으며, 그림 4(b)는 부스트 컨버터의 입력단 전압과 인덕터에 흐르는 전류를 나타내고 있다. 입력전압의 경우 부스트 일사량이 반정도 있을 때에서 없을 경우 그리고 최대로 일사량이 변동할 경우를 각각 나타내었고, 전압의 변동은 거의 없었다. 그리고 전류의 경우 일사량이 변환에 따라서 리플은 약 0.5[A]정도로 일사량에 관계없이 존재하게 되는데 이것은 제어기가 전류를 제어하지 않기 때문에 발생하는 것이다. 하지만 일사량이 변했을 때 일사량이 감소했을 때는 1[ms]내에 추종했으며, 일사량이 증가했을 때는 3[ms]내에 추종을 하였다. 이것으로 보아 과도상태에서도 제어기의 추종 능력이 뛰어난 것을 확인 할 수 있다.

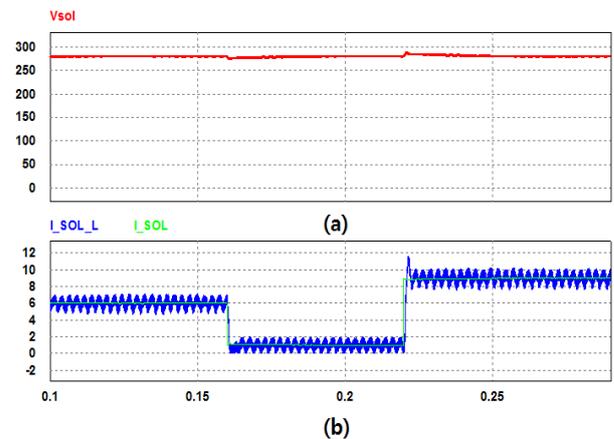


그림 4 부스트 컨버터 입력 전압 및 전류
Fig 4. Input voltage and current of the boost converter

4. 결론

본 논문은 부스트 컨버터에 상태궤환 제어기를 사용한 단일루프 알고리즘에 관하여 연구하였다. 우선적으로, 부스트 컨버터를 모델링하였고, 모델링을 바탕으로 하여 적분기를 적용한 상태궤환 제어기를 설계하여 제어를 위한 변수를 해석적으로 도출하였다. 이 알고리즘을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 하였으며, 정상상태와 과도상태에서 제어기가 강건하게 동작하는 것을 확인 하였다. 추후 실험이 필요하며 신재생에너지와 연계한 연구가 필요하다.

○ 본 연구는 중소기업청의 중소기업 산학연협력사업 사업 계획 “일반과제”의 일환으로 수행되었습니다. (No.C0041237)

참 고 문 헌

- [1] 김한구, 이상용, “저가형 태양광 발전시스템을 위한 아날로그 MPPT 알고리즘의 특성 해석”, 전력전자학회, 전력전자학회 2004년도 전력전자학술대회 논문집(I) 2004.7, page(s): 121 124
- [2] Hyun su Bae et al, “Digital State Feedback Current Control using the Pole Placement Technique”, JPE, vol. 7, no. 3, pp.213 221 , 2007