

4 스위치 3상 Z-소스 PWM 정류기의 전압 센서리스 제어

한근우*, 수효동***, 정영국**, 임영철***
 (재)전북자동차기술원*, 대불대학교**, 전남대학교***

Voltage Sensorless Control of the Four Switches Three-Phase Z-Source PWM Rectifier

Keun Woo Han*, Xiao Dong Qiu***, Young Gook Jung**, Young Cheol Lim***
 Jeonbuk Institute of Automotive Technology*, Daebul University**, Chonnam National University***

ABSTRACT

본 논문에서는 PWM 정류시스템의 간소화, 안정화, 비용상승의 문제점을 해결하기 위한 4스위치 3상 Z 소스 PWM 정류기의 센서리스 제어 기법을 제안하였다. 제안한 정류기는 입력단 전원전압 센서 없이 입력전류 센서와 DC link단 전압센서만을 이용하여 전원전압을 추종하고 DC link 전압제어를 구현 하였으며, 이를 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

1. 서론

3상 6스위치 PWM 정류기는 주어진 입력 전압에 대해 출력 전압의 승압 또는 강압에 따라 승압형 정류기와 강압형 정류기 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 종전의 3상 PWM정류기는 승압 또는 강압을 하나의 시스템으로 하기 위해서 추가적인 컨버터가 필요하며, 스위칭 동작 시 일어나는 암 단락은 스위치 소자에 손상을 가져 오기 때문에 스위칭에 데드타임이 필요하다. 그러나 4스위치 3상 Z 소스 정류기^[1]의 경우, 종전의 PWM 정류기와 달리 LC조합에 의해 구성된 Z 소스 네트워크를 이용하기 때문에 승압 및 강압이 모두 가능하다. 이로서 추가적인 승/강압 컨버터와 입력 전압의 가변 없이 원하는 출력 전압을 변환 할 수 있다. 또한 3상 PWM 정류기를 구현하기 위해 4개의 전력용 스위치를 이용하기 때문에 6개의 스위치를 사용하는 6스위치 3상 PWM 정류기에 비해 경제적일뿐 아니라 스위칭 손실이 적고 부피도 줄일 수 있다. 본 논문에서는 3상 Z 소스 PWM 정류기^[1]의 입력 전압의 검출이 필요치 않은 입력전압 센서리스 제어기법을 제안한다. 본 연구의 타당성은 PSIM 시뮬레이션을 통하여 입증을 하고자 한다.

2. 4 스위치 3상 Z-소스 PWM 정류기의 해석

그림 1은 4스위치 3상 Z-소스 PWM 정류기를 나타내고 있다. 기존 PWM 정류기와 달리 Z 소스 형태로 연결된 임피던스 LC 네트워크와 4개의 전력용 스위치

그리고 출력 전압의 승압과 강압을 제어하는 스위치로 구성되어 있는 것이 특징이다.

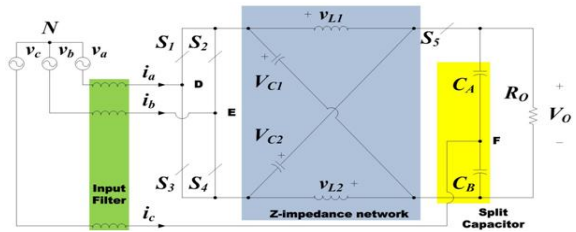


그림 1 4스위치 3상 Z-소스 PWM 정류기
 Fig. 1 Four switches three-phase Z-source PWM rectifier

그림 2는 4스위치 3상 Z 소스 PWM 정류기의 등가 회로를 나타내고 있으며, 비 암 단락(Non shoot through state: Active state)모드와 암 단락(Shoot through state)모드로 구분 할 수 있다. 동일 암에 위치한 두 스위치의 비 암 단락 시간(TR) 동안은 그림 2(a)와 같은 모드를 가지며, 이 기간 동안 Z 소스 PWM 정류기는 전압형 정류기와 같게 동작한다. 이때 Z 네트워크에 인가되는 입력 DC전압(V_{in})과 출력 DC전압(V_{dc})은 같으며, 스위치 SW5는 도통 상태가 된다. 동일 암에 위치한 두 스위치가 암 단락되는 시간(TD) 동안에는 그림 2(b)와 같은 모드가 형성된다. 이 경우 Z 네트워크에 인가되는 입력 DC전압(V_{in})은 출력 DC전압(V_{dc}) 보다 높고, 스위치 SW5는 차단 상태가 된다.

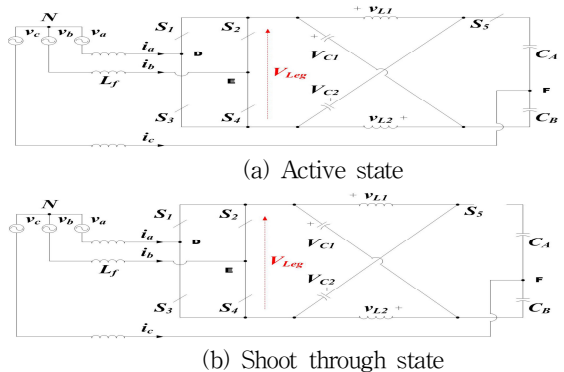


그림 2 동작모드에 따른 등가 회로
 Fig. 2 Equivalent circuit according to operation mode

3. 입력 전압 센서리스 제어의 알고리즘

4스위치 3상 Z 소스 PWM 정류기를 위한 제안된 AC 입력전압 센서리스 제어기법은 전류제어, 입력 전압 추정기 그리고 위상각 추정기로 구성되어 있다. 그림 3은 입력 전압 추정기의 블록선도를 나타낸다.

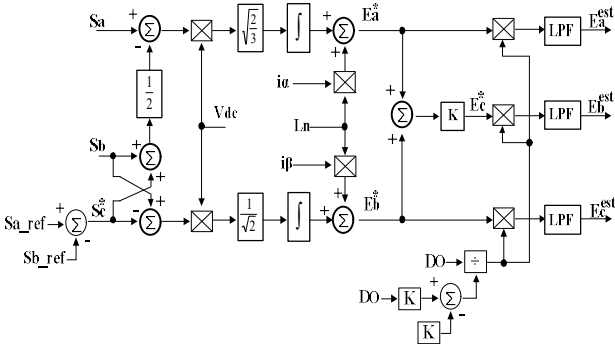


그림 3 입력 전압 추정기의 블록도
Fig. 3 Block diagram of the input voltage estimator

DC link 전압과 AC 입력 전류 그리고 각 암의 스위칭 함수를 이용하면, 다음 수식으로 입력 AC 전압을 추정할 수 있다.

$$E_a^* = \int \left(\sqrt{\frac{2}{3}} V_{dc} (S_a - \frac{1}{2}(S_b + S_c^*)) + L i_{La} \right) dt \quad (1)$$

$$E_b^* = \int \left(\frac{1}{\sqrt{2}} V_{dc} (S_b - S_c^*) + L i_{Lb} \right) dt \quad (2)$$

$$E_c^* = -(E_a^* + E_b^*) \quad (3)$$

4. 결과 및 고찰

제안된 4스위치 3상 Z 소스 PWM 정류기의 제어기 성능을 확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1의 조건으로 수행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

Parameters	Value	
Input voltage, E_a	100[V _{peak}]/60[Hz]	
Input inductor, L_n, R_n	1.5[mH], 0.2[Ω]	
DC link capacitor, C_{out}	3500[μF]	
Load resistor, R_{load}	100[Ω]	
Split capacitor in the third leg (C_A, C_B)	3500[μF]	
Z source network	Inductor, L_1, L_2	1.5[mH]
	Capacitor, C_1, C_2	1000[μF]
Switching frequency, f_{sw}	10[kHz]	

그림 4는 추정된 입력 전압과 직접 검출된 전원 전압의 파형을 확대한 것으로서, 서로 진폭과 위상이 일치함을 볼 수 있다. 그림 5는 DC link 전압 제어를 한 경우에 대한 입력전압과 전류의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 5의 상단 파형은 DC link 전압의 기준치를

250[V]로 일정 제어했을 때의 출력측 직류전압으로서 지령치에 잘 추종하는 것을 알 수 있다.

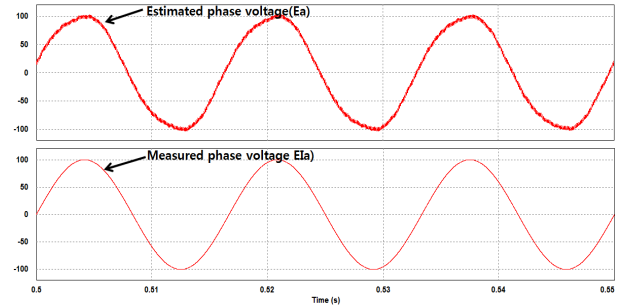


그림 4 각 입력 전압의 확대 파형 (위: 추정된 입력 상전압, 아래: 검출된 입력 상 전압)
Fig. 4 Enlarged waveform of each input voltage (top: estimated input phase voltage, bottom: measured phase voltage)

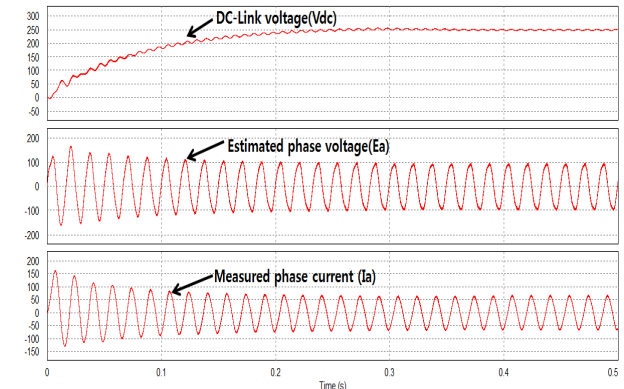


그림 5 DC-link 전압제어에 대한 추정된 입력전압과 측정된 입력전류
Fig. 5 Estimated phase voltage and measured phase current according to the controlled DC-link voltage

5. 결론

본 논문에서는 입력 전압 센서리스 제어기법에 의한 4스위치 3상 Z 소스 PWM 정류기를 제안하였다. 입력 상전압을 검출하지 않고 DC link단 전압과 입력 상전류만을 이용하여 전압제어를 수행하였다. 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 100Vpeak/60Hz 입력 전압조건에 대한 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 입력 AC 전압의 검출없이 두 상의 입력전류와 DC link 전압의 검출만으로 3상 입력 상전압을 추정할 수 있으며, DC link 전압 제어도 우수한 특성을 확인 할 수 있었다. 향후 제안된 3상 Z 소스 센서리스 정류기를 제어기법을 바탕으로 실험을 통해 제시된 기법의 타당성을 검증할 것이다.

본 연구는 전남대학교 전기공학과 BK플러스사업으로 수행된 결과입니다.

참고 문헌

[1] 정영국, 임영철, “넓은 직류 출력전압 제어영역을 갖는 Z 소스 Four Switch 3상 PWM 정류기”, 전력전자학술대회 논문집, 2013, pp.275~276.