

# 퍼지-PID 제어를 이용한 3상 Z-소스 PFC PWM 정류기의 센서리스 제어

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

## A Sensorless Control Scheme of the Three-Phase Z-Source PFC PWM Rectifier Using Fuzzy-PID Controller

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

### ABSTRACT

본 논문에서는 기존 3상 PWM 정류기의 문제점을 극복하기 위하여, 3상 Z 소스 PWM 정류기와 시스템의 간소화, 안정화, 비용 상승을 고려한 센서리스 제어 기법을 제안하였다. 또한 DC link단 전압제어기는 시스템에 대한 경험과 정성적인 정보에 기초하고 제어 대상에 대한 정확한 수식이 없어도 제어가 설계가 가능한 퍼지 PI제어를 이용하였다. 제안한 정류기는 교류측 전압과 전류 센서 없이 DC link단 전압과 전류 센서만을 이용하여 교류측 전압과 전류를 추정하고 단위역률을 구현하였으며, 이를 PSIM시뮬레이션을 통하여 검증 하였다.

### 1. 서 론

3상 PWM 정류기는 주어진 입력 전압에 대해 출력 전압의 승압 또는 강압에 따라 승압형 정류기와 강압형 정류기 두가지 형태로 나눌 수 있다. 종전의 3상 PWM 정류기는 승압 또는 강압을 하나의 시스템에서 구현하기 위해서는 추가적인 컨버터가 필요하며, 스위치 동작 시 일어나는 암 단락은 스위치 소자에 손상을 가지고 오기 때문에 스위치에 데드타임이 필요하다. 그러나 본 논문에서 제시한 Z 소스 PWM 정류기의 경우, 종전의 PWM 정류기와 달리 LC조합에 의해 구성된 Z 소스 네트워크를 이용하기 때문에 승압 및 강압 특성이 모두 포함된 구조를 가지고 있다. 이로서 추가적인 승/강압 정류기와 입력 전압의 가변 없이 원하는 출력 전압을 변환할 수 있다. 또한 브리지 정류기 스위치의 단락 시간을 이용하기 때문에 데드타임 불필요하다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 종전의 3상 PWM 정류기의 문제점을 극복하기 위하여 3상 Z 소스 PWM 정류기를 위한 센서리스 제어 기법을 제안하였다.

### 2. 센서리스 제어의 알고리즘

제안된 센서리스 제어기법은 입력 전압, 전류 추정기 그리고 위상각 추종기들로 구성이 되어있으며, 전체 제

어블록은 그림 1과 같다.

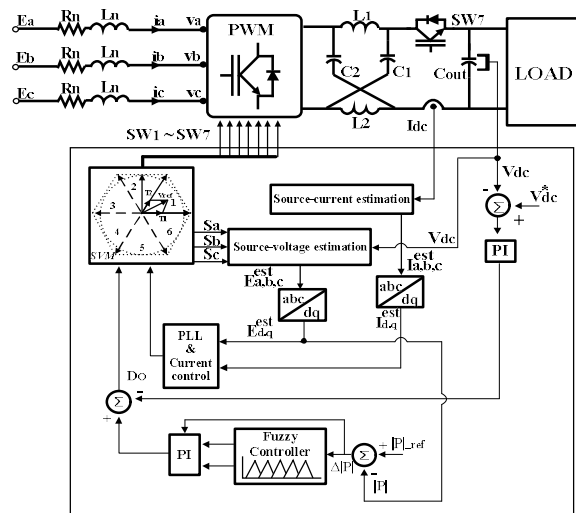


그림 1 전반적인 센서리스 제어 블럭도  
 Fig. 1 Overall sensorless control block diagram

### 2.1 입력 전압 센서리스 제어 알고리즘

DC link 전압과 교류측 입력 전류 그리고 각 암의 스위칭 함수를 이용하면, 다음 수식과 같이 입력 AC전압을 추정 할 수 있다.

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

$$E_b^* = \frac{\sqrt{3}}{3} \int V_{dc} (S_b - S_c) + L i_{L\beta} \quad (2)$$

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

### 2.2 입력 전류 센서리스 제어의 알고리즘

상전류의 재구성은 DC link 전류가 정류기의 스위칭 상태에 따라 특징한 상전류에 대응된다는 것을 이용하며, 식 (4)와 같이 표현 가능하다.

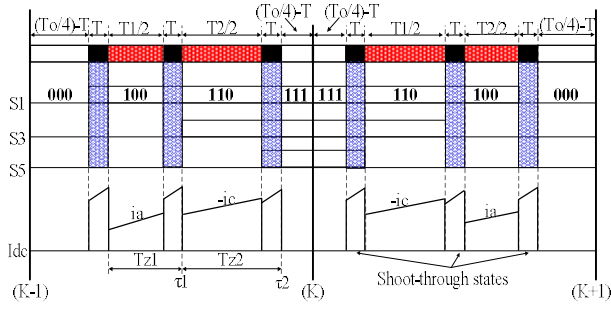


그림 2 스위칭 패턴과 DC-link 전류  
Fig. 2 Switching patterns and DC-link current

$$I_{dc} = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c \quad (4)$$

여기서,  $S_a, S_b, S_c$ 는 1 또는 0을 값을 갖는 스위칭 함수이다. 그림 2는 스위칭 패턴과 DC link 전류를 나타내며, a상 전류를 추정하는 경우,  $\tau_1$ 시점에서 전류를 검출하고  $\tau_1$ 에서부터  $k$ 번째 샘플링 시점까지 a상에 가해지는 평균 전압 식 (5)을 이용하여 식 (6)과 같은  $k$  시점의 a상의 전류를 구할 수 있다. 그리고 나머지 b상과 c상의 전류도 식 (7)과 (8) 같이 추정 할 수 있다.

$$E_{an} = -\frac{T_{z2}}{T_{z2} + (\frac{T_o}{4}) - T} - \frac{V_{dc}}{3} \quad (5)$$

$$i_a(k) = I_{dc}(\tau_2) + \frac{T_{z2} + (\frac{T_o}{4}) - T}{L_n} [E_a - E_{an} - R_n I_{dc}(\tau_1)] \quad (6)$$

$$i_c(k) = I_{dc}(\tau_2) + \frac{T_{z2} + (\frac{T_o}{4}) - T}{4L_n} [E_c - E_{cn} - R_n I_{dc}(\tau_2)] \quad (7)$$

$$i_b(k) = -i_a(k) - i_c(k) \quad (8)$$

### 3. 결과 및 고찰

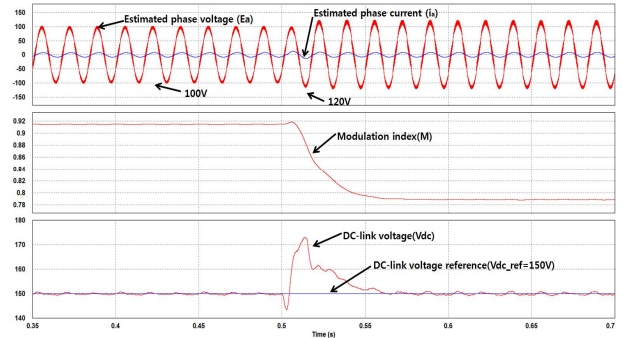
제안된 3상 Z 소스 PWM 정류기의 제어기 성능을 확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1의 조건으로 수행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

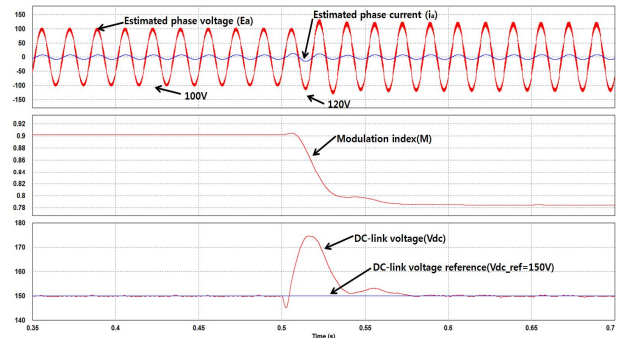
Parameters	Value	
Input voltage, $E_a$	100[V <sub>peak</sub> ]/60[Hz]	
Input inductor, $L_n, R_n$	1[mH], 0.5[Ω]	
DC link capacitor, $C_{out}$	2000[μF]	
Load resistor, $R_{load}$	10[Ω]	
Z source network	Inductor, $L_1, L_2$	3[mH]
	Capacitor, $C_1, C_2$	200[μF]
Switching frequency, $f_{sw}$	10[kHz]	

그림 3은 입력 상전압이 변화될 때, 추정된 입력 상전압/전류, 변조비, DC link 전압의 과도 응답 특성을 나타내고 있다. 입력 상전압이 0.5[s] 구간에서 100[V] → 120[V]로 증가되는 경우, 퍼지 PI제어기는 PI 제어기에

비하여 변조비와 DC link 출력전압에 큰 리플이 없이 기준전압에 추종하는 것을 알 수 있다. DC Link 기준 전압에 변동에도 추종된 상전압과 전류의 단위역률을 유지하면서 출력 DC link 전압을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.



(a) PI control



(b) Fuzzy-PI control

그림 3 입력 상전압 변화에 대한 추정 입력 상전압의 동적응답 특성

Fig. 3 Dynamic response of the estimated input phase voltage for the input phase voltage change

### 4. 결론

본 논문에서는 AC 입력전압 및 전류 센서리스 제어기법에 의한 3상 Z 소스 PWM 정류기를 제안하였다. 제안된 시스템은 입력 상전압과 상전류를 검출을 하지 않았고 DC link 전압제어는 퍼지 PI제어기를 이용하였다. 또한 DC link단 전압과 전류만을 이용하여 DC link 전압을 제어하였다. 제안된 기법은 종전의 PI 제어 센서 기반의 Z 소스 정류기의 출력 및 제어 특성에 있어서도 우수한 특성을 확인 할 수 있었다. 향후 제안된 3상 Z 소스 센서리스 정류기를 제어기법을 바탕으로 실험을 통해 제시된 기법의 타당성을 검증할 것이다.

### 참고 문헌

[1] Xinping Ding, Zhaoming Qian, Yeyuan Xie, Zhengyu Lu, "Three Phase Z Source Rectifier," in Proc. IEEE PESC '05, 2005, pp. 494-500.