

# 상태관측기를 이용한 3상 Z-소스 PWM 정류기의 센서리스 제어

한근우\*, 정영국\*\*, 임영철\*\*\*

(재)전북자동차기술원\*, 대불대학교\*\*, 전남대학교\*\*\*

## A Sensorless Control Scheme of the Three-Phase Z-Source PWM Rectifier Using State Observer

Keun Woo Han\*, Young Gook Jung\*\*, Young Cheol Lim\*\*\*

Jeonbuk Institute of Automotive Technology\*, Daebul University\*\*, Chonnam National University\*\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 종전의 3상 PWM 정류기의 문제점을 극복하기 위하여 3상 Z Source PWM 정류기를 제안하였다. 제안된 정류기는 시스템의 간소화, 안정화, 비용상승을 고려하여 상태관측기가 적용된 센서리스 제어 기법을 적용하였다. 3상 Z Source PWM 정류기는 교류측 전압 센서 없이 DC link단 전압센서와 입력단 전류 센서만을 이용하여 교류측 전압을 추종한다. 제안된 3상 Z Source PWM 정류기는 PSIM 시뮬레이션을 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 정류기가 필요하며, 스위치 동작 시 일어나는 암 단락은 스위치 소자에 손상을 가지고 오기 때문에 스위치에 데드타임이 필요하다. 그러나 본 논문에서 제시한 Z 소스 PWM 정류기에 경우 종전의 PWM 정류기와 달리 L C조합에 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 변환 할 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 Source PWM 정류기를 위한 센서리스 제어 기법을 제안하였다.

### 2. 3상 Z-소스 PWM 정류기의 해석

기존 PWM 컨버터와 달리 Z형태로 연결된 임피던스 L C 네트워크와 추가 스위치로 구성되어 있는 것이 특징이다. 그림 1의 a 상에 대한 전압방정식을 세우면 식 (1)과 같다.

$$U_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + v_a \quad (1)$$

여기서, 우변 제 3항의 브리지 입력 상전압은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$v_a = \left( \frac{2}{3} S_a - \frac{1}{3} (S_b + S_c) \right) U_{dc} \quad (2)$$

여기서, Sa, Sb, Sc 는 각 상의 스위칭 상태를 나타내며, ON 상태일 때는 1이고 OFF 상태일 때는 0이다.

$$U_{pk} = M \frac{V_{dc}}{2} B, \quad M = 1 - D_o \quad (3)$$

$$B = \left( 2 \frac{T_7}{T} - 1 \right) \leq 1 \quad (4)$$

여기서 식(3)로 부터 M(Modulation Index)은 변조지수, B(Buck Factor)는 강압율이며, 시스템의 암단락과 스위치 SW7이 턴오프시 발생하는 결과이다. 식(4)로부터 T 는 3상 Z 소스 PWM 정류기의 스위칭 주기이며, T7은 스위치 SW7의 스위칭 시간이다.

### 3. 센서리스 제어의 알고리즘

제안된 센서리스 제어기법은 입력 전압 추종기 그리고 위상각 추정기로 구성이 되어있으며, 전체 제어블록은 그림 1과 같다.

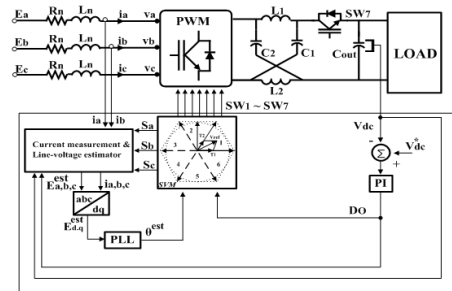


그림 1 전반적인 센서리스 제어 블록도  
Fig. 1 Overall sensorless control block diagram

정지 기준 좌표계에서 상전류와 상전압을 상태변수로 표

현하는 상태 방정식은 식(5), 식(6)과 같다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_s \\ E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ E_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} V_s \quad (5)$$

$$i_s = C[i_s E_s]^T \quad (6)$$

$$\text{단, } i_s = [i_{\alpha s} \ E_{\beta s}]^T$$

$$E_s = [E_{\alpha s} \ E_{\beta s}]^T = [-E_s \sin\theta \ E_s \cos\theta]^T$$

$$E = \sqrt{E_{\alpha s}^2 + E_{\beta s}^2}, \ V_s = [V_{\alpha s} \ V_{\beta s}]^T$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \ A_{12} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s} \end{bmatrix}, \ A_{21} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_c \\ \omega_c & 0 \end{bmatrix}, \ B_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_s} \end{bmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \ C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

상태방정식의 상태변수  $i_{\alpha s}$ ,  $i_{\beta s}$ 는 정류기의 입력전류 변수로서 측정이 가능한 변수이다. 전류상태변수를 제외한 상전압 상태변수만으로 구성된 축소된 상태관측기는 식(7)과 같다.

$$\hat{z} = A_{22}\hat{z} + (A_{21}i_s + B_2v_s) + L(i_s - \hat{i}_s) \quad (7)$$

$$\text{단, } \hat{z} = [E_{\alpha s} \ E_{\beta s}]^T$$

#### 4. 시뮬레이션 결과

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, Ea	100[V <sub>peak</sub> ]/60[Hz]	
Input inductor, Ln, Rn	1[mH],0.5[Ω]	
DC link capacitor, Cout	2000[μF]	
Load resistor, R <sub>load</sub>	10[Ω]	
Z source network	Inductor, L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub>	3[mH]
	Capacitor, C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	200[μF]
Switching frequency, fsw	10[kHz]	

그림 2은 과도상태를 확대한 파형으로서, 입력 전압이 변동하는 0.5초 구간에서도 추정된 입력 전압은 측정된 파형과 비교해 볼 때, 위상각의 변동 없이 일정 주파수를 유지함을 볼 수 있다. 그림 3은 단위 입력역률 제어와 DC link 전압 제어를 한 경우에 대한 시뮬레이션 결과 과를 보여준다. 먼저 그림 3 상단 파형은 추정된 입력 교류 상전압과 측정된 입력 교류 전류 파형을 나타내고

있으며, 서로 동상임을 알 수 있다. 또한 하단 파형은 부하 변동시 출력전류의 변화를 나타내고 있는데, 지령치에 잘 추종하는 것을 알 수 있다.

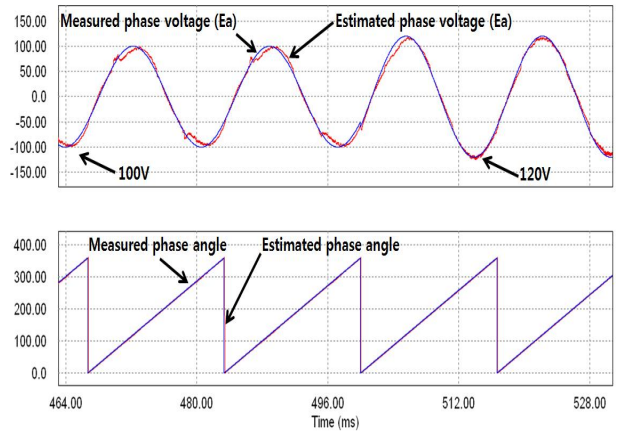


그림 2 확대된 입력 상전압과 위상각  
Fig. 2 Enlarged input phase voltage and its phase angle

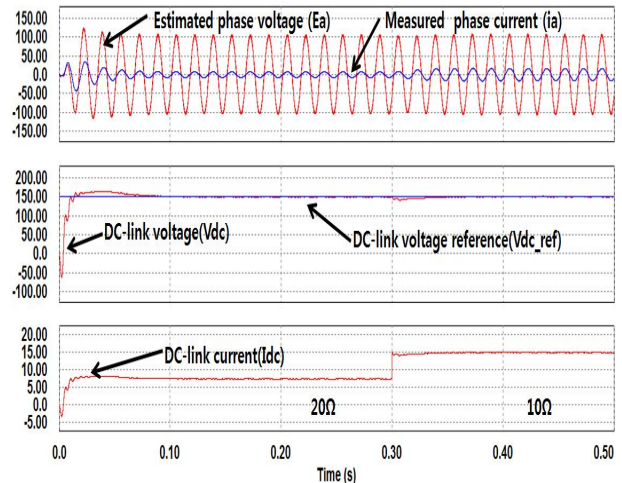


그림 3 단위 입력역률과 DC-link 전압제어 파형  
Fig. 3 Unity input power factor and controlled DC-link voltage

#### 5. 결론

본 논문에서는 AC 입력전압 센서리스 제어기법에 의한 3상 Z 소스 PWM 정류기를 제안하였다. 제안된 시스템은 입력 상전압을 검출을 하지 않았고 상태 관측기를 이용하여 이를 추종 하였다. 또한 DC link단 전압과 입력 전류만을 이용하여 전체 시스템을 제어하였다. 제안된 기법은 종전의 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