

# 퍼지-PI 제어를 이용한 3상 Z-소스 PWM 센서리스 정류기의 과도응답 특성 개선

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

## Improvement of Dynamic Response Characteristics of Z-Source PWM Sensorless Rectifier Using Fuzzy-PI Controller

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 3상 Z 소스 PWM 정류기의 DC link단 과도응답 특성을 개선하기 위해 PI제어기를 사용한 대신에 제어 대상에 대한 정확한 수식이 없이도 제어기 설계가 가능한 퍼지 PI제어기를 이용하였다. 제안한 퍼지 PI 제어기 기반의 PWM 정류기는 교류측 전압과 전류 센서 없이 DC link단 전압과 전류 센서만을 이용하여 교류측 전압과 전류를 추정하였으며, 이를 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증 하였다.

### 1. 서 론

3상 Z 소스 PWM 정류기는 종전의 PWM 정류기와 다르게 L C로 조합된 독특한 Z 소스 네트워크를 이용하기 때문에, 한 대의 정류기만으로 전압형 및 전류형 정류기 특성을 발휘할 수 있다[1]. 따라서 추가적인 승압 및 강압용 컨버터가 필요 없으며, 입력 전압의 가변 없이 원하는 출력 DC전압을 얻을 수 있다. 또한 브리지 컨버터 스위치의 암 단락 시간을 이용하므로, 데드타임이 필요하지 않다. 종전의 PWM 정류기에서는 각각의 제어 루프는 PI 또는 PID 제어기를 일반적으로 사용하고 있다. 이러한 제어기는 좋은 동특성을 얻을 수 있고, 특히 정상상태 오차를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 PI 또는 PID 제어기의 이득을 설정하기 위해서는, PWM 정류기의 정확한 수학적 모델링이 필요하다. 또한 과도상태에서 많은 오차가 발생하며 외란 및 시스템 파라미터 변화에 매우 민감한 문제점이 있다. 민감도를 줄이기 위해서 모델 기준적용 제어기를 이용하여 파라미터 변화의 영향을 제거하거나, 보조적인 제어기를 이용하여 외란의 영향을 제거할 수 있다. 그러나 이러한 경우에도 모델에 대한 정확한 수식이 필요하다. 이에 반해 퍼지 제어기는 시스템에 대한 경험과 정성적인 정보에 기초하고 있다. 따라서 제어 대상에 대한 정확한 수식이 없어도 제어기 설계가 가능하며, 과도상태 특성도 종전의 PI 제어기 보다 우수한 점을 가지고 있다[2].

본 논문에서는 DC link 전압제어를 위한 퍼지 PI제어

기와 AC 입력전압 및 입력전류 센서리스 제어 기반의 3상 Z 소스 PWM 정류기를 제안한다. 제안된 방법은 입력 AC전압과 AC전류 센서가 없어도 DC link단 전압 및 전류 센서만을 이용하여 입력 AC전압과 AC전류를 추정한다. DC link단 출력 전압제어는 정상상태에서 작은 오차를 갖는 종전의 PI 제어기와 과도 상태에서의 안정성과 강인성을 갖는 퍼지 제어기를 결합한 퍼지 PI제어기를 이용한다. 또한 PWM 변조방식으로는 수정된 공간벡터 변조방식(MSVPWM)[3]을 적용한다. 끝으로, 본 연구의 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 입증을 하고자 한다.

### 2. Z-소스 PWM 정류기를 위한 퍼지-PI제어

제안된 3상 Z 소스 PWM 정류기를 위한 제어기법은 입력 AC전압, AC전류 추정기 그리고 위상각 추종기로 구성이 되어있으며, 전체 제어블록은 그림 1과 같다.

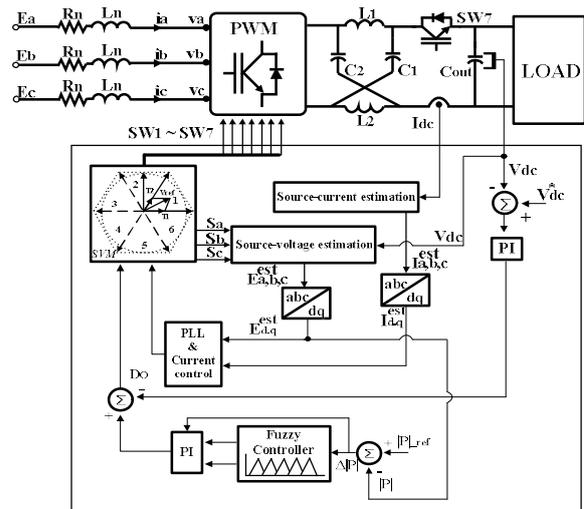


그림 1 제안된 시스템의 전체 블록선도  
Fig. 1 Overall block diagram of the proposed system

그림 2는 DC link 전압 제어를 위한 퍼지 제어기의 블록선도를 나타낸다. 그림 2에서 기준값  $|P|_{ref}$ 와 검출

값  $|P|$ 와 차이는 오차  $\Delta P$ 가 되고 오차를 미분한 값  $\Delta PD$ 가 오차의 변화량이 된다. 각 변수들은 크기변환 상수 (scale factor)의해 정규화 되어 퍼지 제어기의 입력 변수로 사용된다. 앞서 언급한 바와 같이, 제어기에 대한 입력 변수는 매 샘플링마다 오차  $|P|$ 와 오차의 변화량  $\Delta PD$ 로부터 결정되며, “if~then~” 형식의 언어 규칙으로 표현된다.

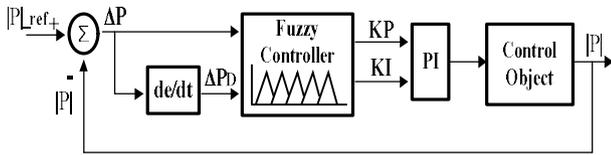


그림 2 DC-link 전압 제어를 위한 퍼지 제어기의 블록도  
Fig. 2 Block diagram of the fuzzy controller for the DC-link voltage control

$$|P| = \sqrt{(E_d^2 + E_q^2)} \quad (1)$$

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) \quad (2)$$

$$u(k) = K_p \times e(k) + K_i \times \sum e(k) \times T \quad (3)$$

여기서  $|P|$ 는 식 (1)을 통하여 나타낼 수 있다. 본 논문에서 소속 함수는 크게 4개의 입력 및 출력 변수에 대한 소속 함수의 형태로 표현하였다. 퍼지 논리 제어기의 입력 변수로서 전압 오차  $e$ 와 오차의 변화분  $ec$ , 출력 변수로서 비례 제어기  $KP$ , 적분 제어기  $KI$ 를 사용하면, 식 (2), 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 결과

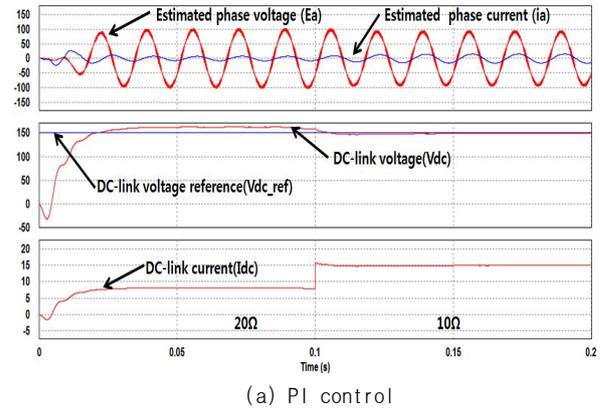
제안된 3상 Z 소스 PWM 정류기의 제어기 성능을 확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1의 조건으로 수행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

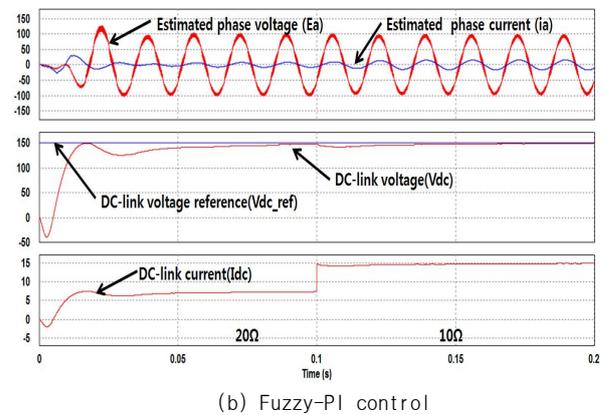
Parameters		Value
Input voltage, $E_a$		100[V <sub>peak</sub> ]/60[Hz]
Input inductor, $L_n, R_n$		1[mH], 0.5[Ω]
DC link capacitor, $C_{out}$		2000[μF]
Load resistor, $R_{load}$		10[Ω], 20[Ω]
Z source network	Inductor, $L_1, L_2$	3[mH]
	Capacitor, $C_1, C_2$	200[μF]
Switching frequency, $f_{sw}$		10[kHz]

그림 3은 20 → 10[Ω]으로 부하저항이 감소하는 경우, PI제어기와 퍼지 PI제어기의 응답 특성을 나타낸다. 각 그림에서 상단 파형은 추정된 AC입력 상전압과 전류 파형을 나타내며, 중간 파형은 DC link 전압의 기준치가 150[V]인 경우에 대한 DC 출력 전압의 응답을 나타내고 있다. 퍼지 PI제어기는 초기 DC 입력전압이 150[V]를 넘지 않는 반면에, PI제어기는 150[V]를 넘고 있다. 맨 아래 파형은 이 경우에 대한 DC 출력전류를 나타내는데, 퍼지 PI제어기는 부하 변동 시점에서 DC출력 전류

의 오버슈트가 적음을 알 수 있다.



(a) PI control



(b) Fuzzy-PI control

그림 3 부하감소(20→10[Ω])에 대한 응답특성  
Fig. 3 Response characteristic of the fuzzy-PI controller for load decrease (20→10[Ω])

### 4. 결론

본 논문에서는 3상 Z 소스 PWM 센서리스 정류기를 위한 퍼지 PI 제어기법을 제안하였다. 제안된 시스템은 입력 AC전압과 전류 센서가 제거된 형태로 DC link 전압제어는 과도응답 특성 개선을 위해 종전의 PI제어기 대신 퍼지 PI제어기를 이용하였다. 제안된 기법은 종전의 PI제어기 기반의 Z 소스 PWM 정류기와 비교하여 출력 및 제어 특성에 있어서 우수한 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] Xinpeng Ding, Zhaoming Qian, Yeyuan Xie, and Zhengyu Lu, “Three phase Z source rectifier,” in Proc. IEEE PESC '05, 2005, pp. 494-500.
- [2] Xu Dianguo, He Na, and Wang Wei, “Study on fuzzy controller with a self adjustable factor of active power filter,” in Proc. IEEE IECON'06, 2006, pp. 2226-2231.
- [3] Se Jin Kim, Young Gook Jung, Young Cheol Lim, and Seung Hak Yang, “Output AC voltage control of a three phase Z source inverter by the voltage gain and modulation index control”, Trans. KIEE, vol. 59, no. 11, pp. 1996-2005. Nov. 2010