

3상 AC/DC 컨버터를 위한 퍼지전류제어기 설계

조성민, 김병진, 박석현, 김순영, 전희종

승실대학교

A Design on Fuzzy Logic Current Regulator for three-phase AC/DC Power Converters

Seong-Min Cho, Beung-Jin Kim, Suk-Hyun Park, Sun-Yong Kim, Hee-Jong Jeon

Soongsil University

Abstract

In this paper, the method of Space-Vector Pulse Width Modulation(SVPWM) with Fuzzy Logic Regulator(FLR) is proposed. In a conventional SVPWM, the procedures of phase transformation and choosing PWM patterns are complex. So, it should be implemented with high performance processor like Digital Signal Processor(DSP). In order to reduce a calculation burden, a proposed system adopts FLR. Using a linguistic control strategy based on expert knowledge, FLR relieves the processor from a heavy computations. In simulations, the proposed system is validated.

서는 DSP(Digital Signal Processor)와 같은 고속의 프로세서가 필요하다.

제안된 퍼지 제어는 언어적인 방식을 이용한 제어기의 구현이 가능하므로 수학적 모델링이 필요하지 않다. 또한 수행 속도가 빨라짐으로서 DSP와 같은 고속 프로세서를 사용하지 않고도 공간벡터 PWM 제어와 같은 복잡한 알고리즘의 구현이 가능하다. 이러한 퍼지 제어기의 장점을 이용하여 본 논문에서는 퍼지 PWM 제어기를 설계하여 공간벡터 PWM을 발생시켰다.

퍼지제어기와 더불어 직류링크단 전압을 제어하기 위하여 예측전류제어(predictive current control) 방식을 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 제어기의 성능을 검증하였다.

1. 소개

현재 산업계에서 사용되는 전기 기기 및 장치에서 안정한 직류전압의 공급은 대단히 중요한 문제이다. 근래에는 부하전류의 변화에도 안정된 직류링크 전압을 위한 공간벡터 PWM 전류제어방식이 많이 사용된다. 공간벡터 PWM 전류제어기는 3상의 측정값을 두개의 기준좌표계에서 모델링하여 지령전류를 발생한다. 그러나 개념적으로 간단함에도 불구하고 공간벡터 PWM 전류제어기는 계산적으로 복잡하다.

공간벡터 PWM 전류제어기는 스위칭 주기에 맞추어 직류 링크전압을 이용하여 새로운 지령벡터의 크기와 위상을 결정하고 이러한 지령 벡터를 발생하기 위한 공간벡터 PWM을 발생한다. 대개 마이크로 프로세서의 속도에 따라서 스위칭 주파수가 결정된다. 따라서 공간벡터 PWM 전류제어기를 구현하기 위해

2. 퍼지전류제어기의 구성

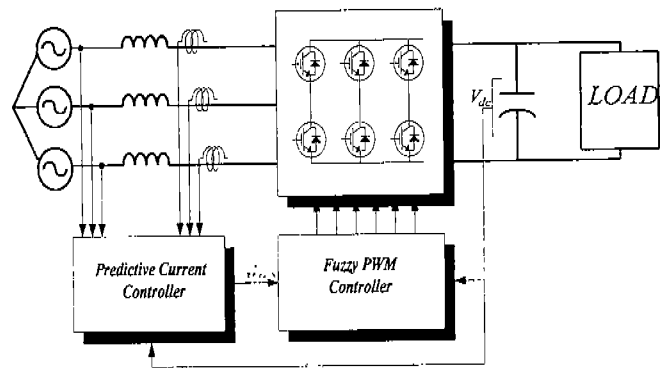


그림 1 제안된 3상 AC/DC 컨버터의 구조

그림 1에 나타난 3상 전압원 AC/DC 컨버터는 퍼지 제어기를 이용하여 직류링크전압을 일정하게 유지하는 기능을 한다. 컨버터 입력 선전류를 조절하여 직류링크전압을 제어하므로 전류제어가 필요하다.

임의의 시간 t_n 을 가정하면, 입력 선전류는 지령값 $V'(t_n)$ 을 구하기 위해서 전류 지령치 $I(t_n + T_s)$ 를 먼저 구한다. 지령전류는 식 (1)처럼 현재 측정된 정보와 이전 정보를 이용하여 예측가능하다.

$$I(t_n + T_s) \approx I(t_n) + (I(t_n) - I(t_n - T_s)) \quad (1)$$

따라서 지령전류는 식 (2)과 같다.

$$I(t_n + T_s) \approx 2I(t_n) - I(t_n - T_s) \quad (2)$$

피드백 받은 직류링크전압의 오차만큼을 보상하기 위해 만들어진 비례상수(K)는 예측전류제어기의 입력으로 사용된다. 스위칭주기의 끝에서 지령전류는 이전과 현재의 입력전압과 비례상수(K)의 곱을 통해서 유도된다. 비례상수(K)는 직류링크전압 오차를 조절하는 PI 제어기에 의해 결정된다. 따라서, (2)로부터 지령전류는 식 (3)처럼 기술된다.

$$I(t_n + T_s) \approx 2KV(t_n) - KV(t_n - T_s) \quad (3)$$

교류측 지령전압은 샘플링주기동안의 인덕터 전류의 변화량을 통해서 식 (4) 같이 유도된다.

$$V'(t_n) = V(t_n) - \frac{L}{T_s}(I(t_n + T_s) - I(t_n)) \quad (4)$$

각 상에 따라서 식 (3)을 식 (4)에 대입하여 정리하면 식 (5)로 퍼지논리제어의 입력으로 사용될 세 개의 전압지령 $V_a'(t_n)$, $V_b'(t_n)$, $V_c'(t_n)$ 이 만들어 진다.

$$V'(t_n) = (1 - \frac{2kL}{T_s})V(t_n) + \frac{kL}{T_s}V(t_n - T_s) + \frac{L}{T_s}I(t_n) \quad (5)$$

이를 바탕으로 하여 퍼지논리제어기는 지식베이스로 요약된 lookup 테이블을 사용하여 PWM을 위한 공간벡터의 각과 크기를 추론해낸다. 추론된 공간벡터의 각과 크기를 통해 인접한 공간벡터의 인가시간을 결정한 후 PWM을 발생시켜 스위칭을 하게 된다.

3. 퍼지화와 추론

기존의 공간벡터 PWM에서 했던 것처럼 상변환을 피하기 위해서 퍼지 논리 제어기를 사용한다. 퍼지화는 크리스프(crisp) 데이터를 퍼지집합으로 변환하고, 조건명제에서 진행상태변수의 퍼지집합을 표현하므로써 복잡한 수학적인 계산과정대신 지식베이스를 통한 추론을 하게 된다.

퍼지 제어기의 상세한 구조는 그림 2와 같다. 입력 전압은 식 (6)를 이용하여 크기조정을 한다.

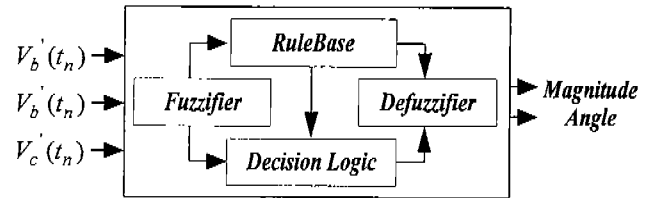


그림 2 퍼지 제어기

$$V_{scale} = \max\{|V_a'|, |V_b'|, |V_c'|\} \quad (6)$$

이 식 (6)을 이용하여 전체 제어입력은 정의된 범위로 정규화 된다. 이러한 정규화 과정을 이용하면 지식베이스의 규칙수를 줄여 프로세서의 사용 메모리를 줄일 수 있다. 퍼지 입력변수는 7개의 퍼지 부분 집합으로 나눈다. NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB 퍼지 부분집합의 분할과 멤버함수는 그림 3에 나타낸다.

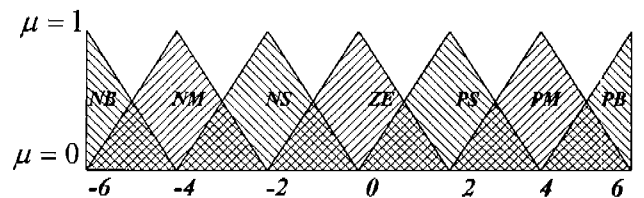


그림 3 입력전압의 퍼지화

4. 시뮬레이션 및 고찰

제안된 방식의 검증을 위하여 다음과 같은 3상 컨버터로 시뮬레이션을 행하였다.

- 입력 상전압의 실효치 : 70.7 [Vrms]
- 인덕터 : 3 [mH]
- 커패시터 : 1800 [uF]
- 부하저항 : 35 [Ω]
- 스위칭 주파수 : 20 [kHz]

그림 4는 퍼지 제어기의 공간벡터 PWM출력을 보여 주고있다. 3상의 입력된 전압의 크기와 위상을 이용하여 컨버터에 인가할 6개의 PWM열을 발생한다,

그림 5는 입력단 상전압과 선전류의 파형을 나타낸다. 전류제어에 따라 선전류의 크기와 위상이 변화된다.

그림 6은 부하변동시에 직류링크전압 제어성을 나타낸다. 부하를 변동했어도 직류링크 전압은 빠르게 지령치에 복귀함을 알 수 있었다.

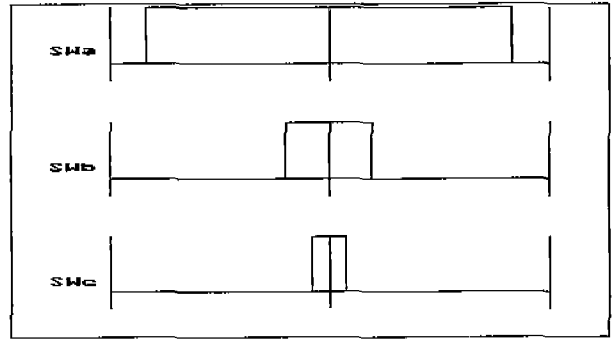


그림 4 공간벡터 PWM

5. 결론

본 논문에서는 3상 AC/DC 컨버터를 위한 퍼지제어기를 설계하였다. 기존의 공간벡터 PWM에서는 좌표변환이 필요하고 계산이 복잡하다는 단점을 가지고 있어서 DSP와 같은 고성능의 마이크로 프로세서가 필요하다. 이러한 단점을 보완하고자 퍼지제어기를 적용함으로써 프로세서의 계산수를 경감시켜 마이크로 프로세서의 비용을 적게 해준다. 퍼지 논리 제어기의 실행시간은 기존의 공간벡터제어기보다 빠르며 기존의 공간벡터 PWM 컨버터와 동일한 성능을 가지면서도 계산속도의 향상을 보인다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. G. Habetler, "A space vector-base rectifier regulator for ac/dc/ac converters," IEEE Trans. Power Electron., vol 8, no. 1, pp. 30-36, 1993.
- [2] G. C. D. Sousa and B.K. Bose, "A fuzzy set theory based control of a phase-controlled convert dc machine drive," in IEEE Industry Application Soc. Annu. Meet. Conf. Rec., 1991, pp. 854-861.
- [3] Azeddine Draou, Yukihiko Sato and Teruo Kataoka, "A New State Feedback Based Transient Control of PWM AC to DC Voltage Type Converters", IEEE Trans. Power Electron., vol 10, no. 6, pp. 716-724, 1995.
- [4] R. Wu, S. B. Dewan and G, R. Slemon, "Analysis of a PWM AC to DC voltage source converter under the predicted current control with a fixed switching frequency", IEEE Trans. Ind. Applicant., vol. 27, no. 4, pp. 756-764, July/Aug. 1991.

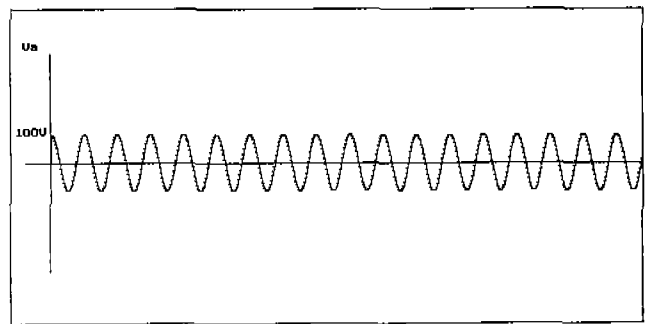
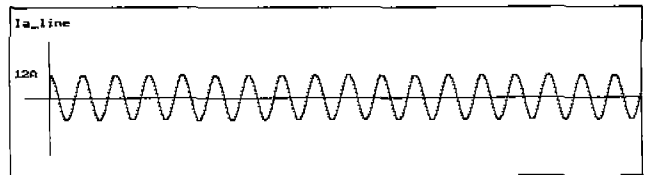


그림 5 입력단 선전류와 상전압

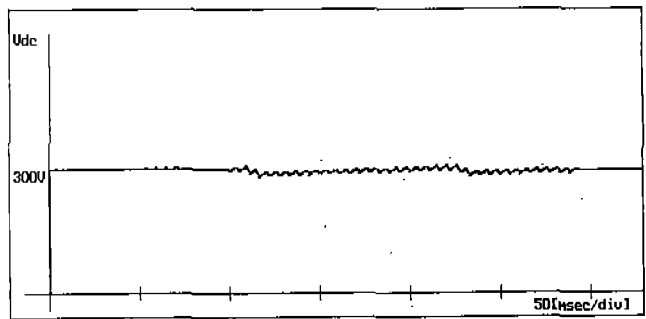


그림 6 부하변동시의 직류링크단 전압과 전류