

범용 퍼지 지원 도구를 이용한 퍼지 전류 제어기

* 민 성식, 이 규찬, 송 종환, 조 규복
효성중공업 (주)

A Fuzzy Current Controller using General Purposed Fuzzy Control Software Tool

* Seong-Sik Min, Kyu-Chan Lee, Jhong-Whan Song, Kyu-Bok Cho
Hyosung Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

Current controlled pulse width modulation(PWM) for voltage source inverter(VSI) is one of the control method which controls the current directly so that we can perform vector control because it reduces the orders of differential equations of the induction machine.

This paper propose a Fuzzy current controlled PWM which properly minimize a current ripple using Fuzzy theory in a constant switching frequency. This technique is applied to an electrical drive system with an induction machine(IM) by simulation. By comparison with the known classical method such as ramp comparison, hysteresis band method, our contribution shows the better performances.

서론

유도전동기는 (가)구조가 단순하고 견고하며, (나)효율이 높고, (다)유지, 보수 비용이 적다는등의 장점을 갖고 있으나, 전동기 자체의 동특성 방정식이 5원 비선형 방정식으로 복잡하게 나타나 해석과 제어가 어렵다. 이때 만약 입력전류를 직접제어할 수 있다면, 위의 방정식은 3원 비선형 방정식으로 줄어들게 되고, 벡터제어 이론을 적용할 수 있게 된다. 이에 입력전류를 직접제어하는 방식으로 제시되어진 것이 L.B. Plunkette[1]에 의해 소개된 전류제어 방식의 전압형 인버터(CC-VSI : Current Controlled Voltage Source Inverter)로서 그후 많은 발전이 있었다[2].

CC-VSI의 광범위한 사용에 따라 나타난 주된 문제들로는 (가)고성능의 제어 시스템을 실현하기 위한 안정된 스위칭 구조, (나)전류의 리플(ripple)을 최소화하여 부하에서의 스위칭 손실을 줄이는 문제, (다)스위칭 주파수를 일정하게 하여 부하에서의 필터설계를 용이하게 하는 문제등을 생각할 수 있다. 이런 문제들을 해결하기 위하여 지금까지 많은 제어방식이 소개됐다.

기존에 제안된 히스테리시스 전류제어기(Hysteresis Band Current Controller)는 그 구조가 간단하고 자체로서 전류제한 능력을 갖고 있으나, 스위칭 주파수가 임의적으로 제한되지 않고 전동기의 부하와 속도에 따라 변화하여 과다한 고조파 성분을 갖게되거나, 스위칭소자의 주파수 한계를 벗어날 우려도 있다. 이에 반해 스위칭 주파수를 일정하게 유지하는 방식으로 제안된 램프파 비교 전류 제어기(Ramp Comparison Current Controller)[3]가 있는데, 이는 자체적으로 위상 지연이 있어 시스템의 동특성을 저하시킨다. 또 만약 부하의 시정수가 램프파의 기움기보다 작으면 한 주기안에서 여러번

의 스위칭을 할 우려도 있다. 한편 예측 전류 제어기(Predictive Current Controller)가 있는데, 일정 스위칭 주파수 방식[4]과 최소 스위칭 방식[5]의 두가지가 제안돼 있다. 이 방식들은 시스템의 완전한 해석이 이루어진 후에야 제어가 가능한데, 시스템 파라메타를 얻기도 어렵고, 특성이 비선형적이어서 해석도 어려우므로 실제 시스템에 적용하기에는 문제가 있다. 또한 일정 스위칭 주파수 방식은 전류제한 기능을 갖추고 있지 못하며, 최소 스위칭 주파수 방식은 많은 계산 시간을 요구하여 제어 시스템의 지연을 야기시킨다. 또 최근의 적용 히스테리시스 폭 전류 제어기(Adaptive Hysteresis Band Current Controller)[6]는 기존의 히스테리시스 전류제어기에 일정 스위칭 주파수를 갖도록 폭(band)를 조절한다. 그러나 중성점이 개방된 교류 전동기에 적용할 경우 온(ON), 오프(OFF) 스위칭 주기가 임의적으로 결정되지 않고, 속도 상태에 따라 변화하게될 히스테리시스 폭의 계산이 용이하지 않다.

본 논문에서는 퍼지이론을 이용하여 인버터의 스위칭을 조절하는 퍼지전류 제어기를 제안한다. 이는 기존에 제안된 전류 제어기들의 문제점을 개선한 진일보된 형태이다. 특히 이 방법은 시스템의 모델링이나 해석이 필요 없고, 인간의 경험(제어지식)을 퍼지 룰(rule)과 멤버십 함수(membership function)의 형태로 저장하여 제어하므로 일정 스위칭 주파수 내에서 인간이 생각할 수 있는한 최소한의 전류 리플만을 허용함으로써 제어시스템의 안정된 동작과 손실의 극소화를 꾀할 수 있으며, 부하에서의 필터 설계를 용이하게 할 수 있다.

2. 범용 퍼지제어용 지원 도구

퍼지제어를 하는 경우는 (가)시스템의 모델링이나 해석이 필요없고, (나)복잡한 비선형 시스템에도 적용가능하고, (다)인간의 경험을 활용할 수 있으며, (라)변수가 매우 많은 경우에도 병렬처리를 하는 특성 때문에 속도에 거의 영향을 주지않는 등의 장점을 가진다[7]. 이런 퍼지제어 부분은 따로 범용 퍼지 제어용 시뮬레이터를 만들어 사용하였다.

본 시뮬레이터는 (1)인간의 경험을 룰과 멤버십 함수의 형태로 저장시키는 것을 도와주는 퍼지 룰 입력기(Fuzzy rule editor) 부분, (2)가상의 입력을 받아 입력된 룰과 멤버십 함수에 의해 출력을 확인해 볼 수 있도록하여 룰의 수정 방향을 도와주는 시뮬레이션 부분, 그리고 (3)실제 입력을 받아 제어 출력을 내보내는 퍼지제어부분으로 구성되어 있다 (그림 1).

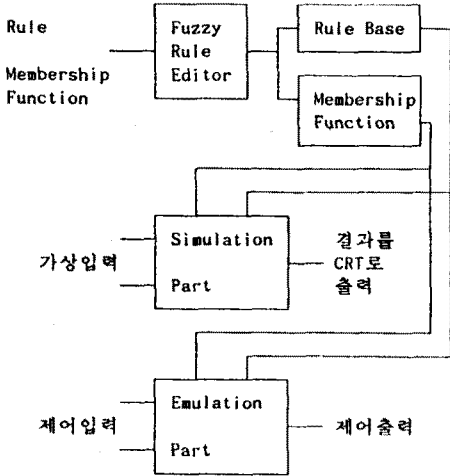


그림 1. 범용 퍼지 제어 지원 도구의 구성도

퍼지제어부와 시뮬레이션부는 이미 만들어진 멤버십 함수에 의해 crisp입력을 퍼지함수로 바꿔주는 퍼지화(Fuzzyfication)부와 물에 의해 퍼지 입력에서 퍼지 출력을 유도하는 퍼지추론부, 그리고 퍼지 출력을 crisp값으로 바꿔주는 역퍼지화(Defuzzyfication)부의 세부분으로 구성되어 있다(그림 2).

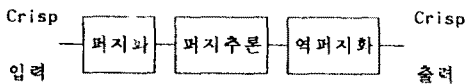


그림 2. 퍼지 제어기의 구성

그림 3과 4는 사용된 범용 퍼지제어용 시뮬레이터에서 시뮬레이션을 하는 그림으로 본 논문에서 사용한 멤버십 함수를 나타낸다. 그림 3-(a)는 입력으로 사용된 기준전류에 대한 멤버십 함수이고, 그림 3-(b)는 그에 해당되는 출력을 나타낸다. 그리고 그림 3-(c)는 입력이 각각 78과 0일때 퍼지 출력과 그에 해당되는 crisp 출력값을 나타낸다. 그림 4-(a)는 본 논문에서 두번째 입력으로 사용된 기준전류와 실제전류 사이의 오차에 해당하는 멤버십 함수이고 그림 4-(b)는 그에 대응하는 출력이다. 그림 4-(c)는 입력이 각각 78과 143일 경우의 퍼지출력과 crisp 출력이다.

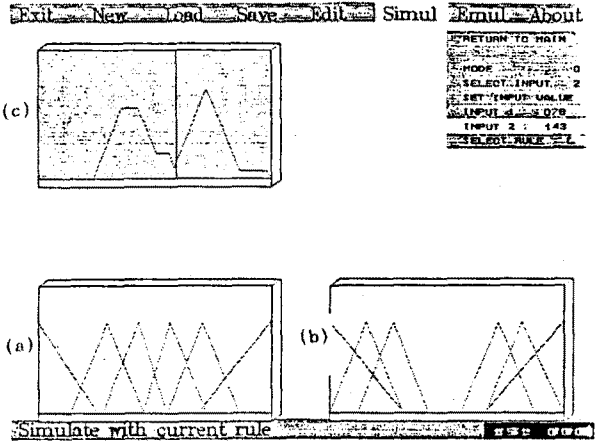


그림 4. 퍼지제어기의 입력으로 사용된 오차에 대한 입력과 출력의 멤버십 함수

3. 퍼지 전류 제어기

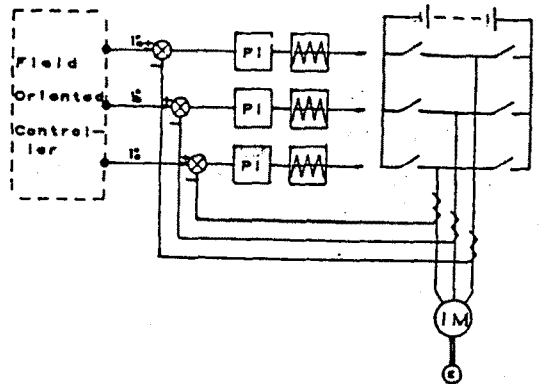


그림 5. 삼각파 비교방식 전류 제어기의 구성도

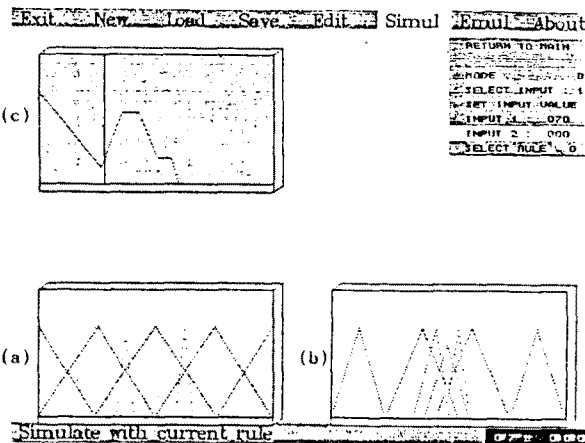


그림 3. 퍼지제어기의 입력으로 사용된 기준전류에 대한 입력과 출력의 멤버십 함수

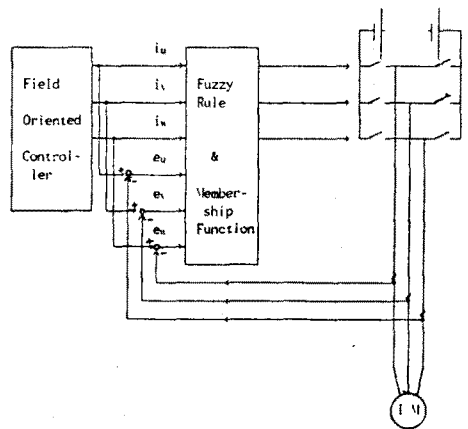


그림 6. 제안된 퍼지 전류 제어기의 구성도

그림 5는 상용으로 많이 쓰이는 삼각파 비교방식 전류제어기의 구성도이고, 그림 6은 제안된 퍼지 전류제어기이다. 퍼지 전류제어기는 입력으로 field oriented controller의 출력, 즉 전류지령치와 이 값과 실제 전류사이의 오차를 사용하였고, 출력으로는 최적의 위치에서 스위칭하게될 각상 게이트의 구동신호를 내보낸다. 그리고 3상의 제어를 위하여 각각 같은 기능을 하는 세개의 퍼지 전류제어기를 사용하여 각각 1상의 제어를 담당하도록 했다.

퍼지론은 일단 기준전류를 입력으로 받아서 인버터의 특성에 맞추어 적당한 출력을 하고, 전류지령치보다 실제전류가 크면 인버터의 온(on)시간을 줄이고 작으면 인버터의 온시간을 늘리도록 만들었다.

· 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안된 퍼지 전류제어기의 우수성을 입증하기 위하여 히스테리시스 전류제어기, 상용으로 많이 쓰이고 있는 램프파 비교 전류제어기와 비교하였다. 시뮬레이션에서 사용된 부하로는 5마력 3상 유도전동기를 사용하였고, 그림 7 각 정수는 표 1에 나타나 있다.

정격용량	5 HP
정격전압	220 V
극수	4 극
주파수	60 Hz
고정자저항	1.57 Ω
외권자저항	1.31 Ω
1차속누설인덕턴스	6.31 mH
2차속누설인덕턴스	8.19 mH
상호인덕턴스	221.3 mH

표 1. 3상 유도 전동기의 파라메타

그림 7, 8, 9는 각 무부하인 경우 램프파 비교방식, 히스테리시스, 퍼지 전류제어기의 출력 전류 파형을 나타내고, 그림 10, 11, 12는 각각 부하로 10 [N·m]를 걸었을 경우의 램프, 히스테리시스, 퍼지 전류제어기의 출력 전류 파형이다. 이들 그림을 보면 전반적으로 퍼지 전류제어기의 경우가 나은 특성을 보임을 알 수 있다. 즉, 히스테리시스 전류제어기의 경우는 스위칭 주파수의 불안정성을 확인할 수 있고, 부하를 걸었을 경우 램프 비교기는 지연이 생기는데 반해 퍼지제어기는 전반적으로 부난히 전류를 출력함을 알 수 있다.

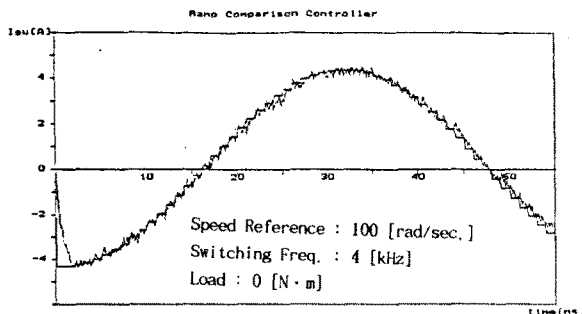


그림 7. 무부하인 경우 램프파 비교 전류제어기의 출력 전류 파형

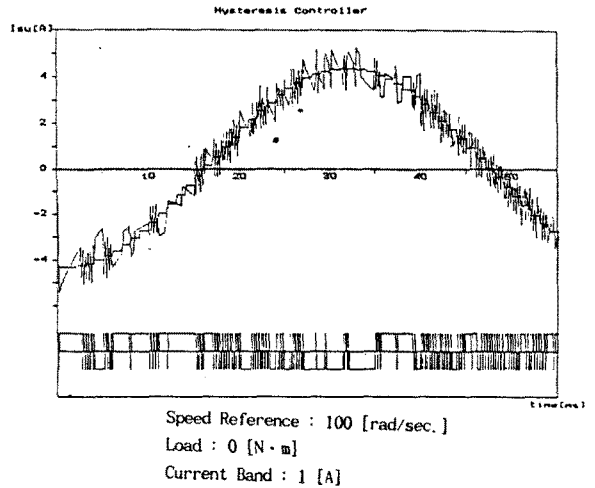


그림 8. 무부하인 경우 히스테리시스 전류제어기의 출력 전류 파형

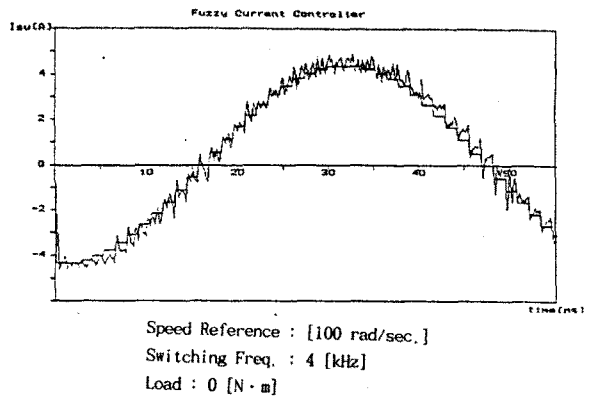


그림 9. 무부하인 경우 퍼지 전류제어기의 출력 전류 파형

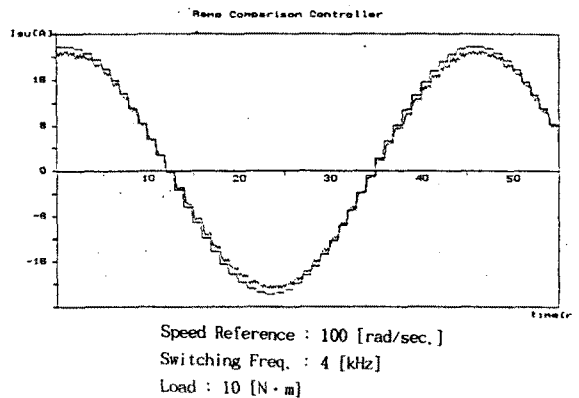


그림 10. 부하를 건 경우 램프파 비교 전류제어기의 출력 전류 파형

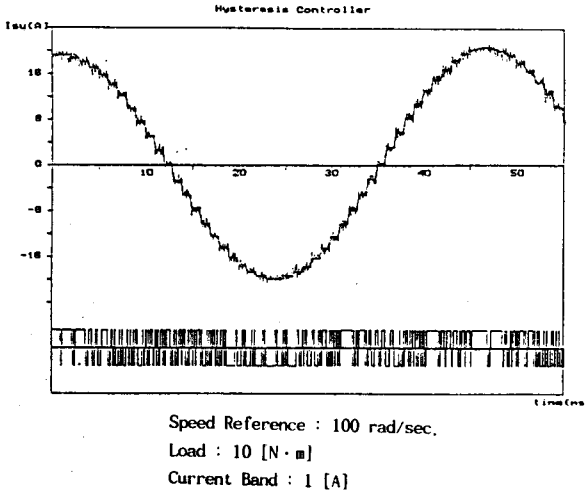


그림 11. 부하를 건 경우 히스테리시스 전류제어기의 출력 전류 파형

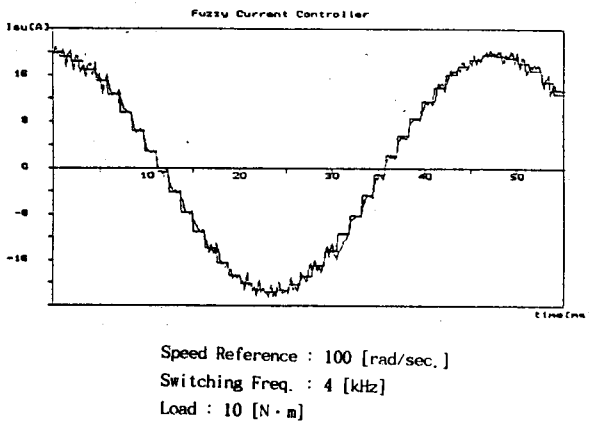


그림 12. 부하를 건 경우 퍼지 전류제어기의 출력 전류 파형

5. 결론

범용 퍼지 제어 지원 도구를 구성하여 유도 전동기의 전류 제어기에 적용하였고, 기존의 전류제어기와 비교하여 결과의 우수성을 입증하였다. 유도 전동기의 각 파라메타를 일정한 것으로 가정하였으나 앞으로는 파라메타의 영향에 대한 고려도 있어야겠다.

REFERENCE

- [1] A.B.Plunkett, "A current-controlled PWM transistor inverter drive," in Proc. Conf. Rec. 14th Annual Meeting. IEEE/IAS 1979, pp.785-792.
- [2] D.M.Brod and D.W.Novotny, "Current control of VSI-PWM inverters," IEEE Trans. on IA Vol.21, No.4, May/June 1985, pp.562-569.
- [3] Y.Itoh et.al., "Stability analysis of a digital current controller for a PWM inverter using a neural network," in Proc. Conf. Rec. IEEE/IAS 1990, pp.1129-1134.
- [4] G.Pfaff, A.Weschta, and A.Wick, "Design and experimental results of a brushless ac servo-drive," in Conf. Rec. 17th Annual Meet. IEEE/IAS 1982, pp.692-697.
- [5] J.Holtz and S.Stadtfield, "A predictive controller for the stator current vector of ac machines fed from a switched voltage source," in Conf. Rec. Annual Meet IEEE/IPEC, 1983, pp.1665-1675.
- [6] B.K.Bose, "An adaptive hysteresis band current control technique of a voltage-fed PWM inverter for machine drive system," IEEE Trans. on IA Vol.37, No.5, Oct. 1990, pp.402-408.
- [7] H.J. Zimmermann, "Fuzzy Sets Theory and It's Applications," Kluwer-Hijhoff Publishing, 363p., 1985.