

마이크로컨트롤러를 이용한 유도전동기의 퍼지속도제어기 설계

안정훈*, 양형렬, 위석오, 임영철

전남대학교 전기공학과 (Tel: 062-530-0852; Fax: 062-530-1749; E-mail: anjh@orion.chonnam.ac.kr)

A Design of Fuzzy Speed Controller for Induction Motor using Microcontroller

AHN Jeong-Hoon, YANG Hyung-Ryeol, WI Seog-Oh, LIM Young-Cheol
Dept. of Electrical Engineering, CHONNAM National Univ.

Abstract - A speed controller of a induction motor using Microcontroller and Fuzzy logic is presented in the paper.

Generally, fuzzy logic controller is known as a controller which can be coped with a non-linear and a complex system. A fuzzy logic is used for robust and fast speed control and space vector modulation method is used for PWM wave generation in this proposed system.

The results of experiment show excellence of the proposed system and that the proposed system is appropriate to control the speed of a induction motor for industrial application.

1. 서 론

최근까지 유도전동기의 속도제어를 위하여 PID 제어를 사용해 왔다.

PID 제어기는 프로세스의 동특성 및 운전조건에 맞게 항상 최적의 상태로 동작되어야 하므로 프로세스의 동작 조건이 변하게 되면 최적의 제어이득계수의 재 동조과정을 필수적으로 요구한다. 제어이득계수의 최적치를 구하는 것은 운전자의 시행착오를 통하여 가능하나, 매번 시행시 마다 많은 동조조작이 필요하며 제어성능을 떨어뜨리고 프로세스의 안정적인 운전을 도모할 수 없다.

본 논문에서 이러한 PID 제어기의 단점을 극복하기 위하여 퍼지제어를 이용한 유도전동기 속도제어기를 제안한다. 퍼지제어는 비선형적이고, 알려지지 않은 시스템을 전문가의 지식을 바탕으로 언어적인 변수에 의해서 제어할 수 있는 장점이 있고, 또한 외란에 대해 매우 강한 특성을 갖는다. 제안한 퍼지속도제어기는 공간전압벡터 변조방식(Space Vector Modulation)에 의해 구동되며, 퍼지논리에 의해 부하에 무관하게 지령치를 추종하도록 제어된다.

구현된 장치는 최근 자동차의 ECU(Engine Control Unit)의 중앙처리장치로 각광을 받고있는 Siemens사의 마이크로컨트롤러(SAB C167CR)를 이용하였다. 마이크로컨트롤러를 이용하여 모든 계산 및 제어를 함으로써 기존에 사용되어 왔던 DSP(Digital Signal Processor)나 마이크로컨트롤러(80C196KC)로 구현한 제어기보다 제어기의 구현이 보다 더 간단하다.

마이크로컨트롤러(SAB C167CR)를 가지고 구현한 장치의 특징은 첫째, 외부와의 인터페이스시 부가적인 회로를 요하지 않는다. 기존의 DSP를 이용한 장치는 처리속도는 빠르기는 하나, 외부와의 인터페이스시 직접 연결을 하지 못하고, 프로세서와 연결대상간의 중간 버퍼링 형태로 PLD(Programmable Logic Device)를 연결해야하는 단점이 있다. 둘째, 정밀하고 안정된 전용 PWM 발생 장치를 내장하고 있다. 이 PWM 발생 장치는 4종류(Edge align, Center align, Burst mode, Single Shot mode)의 다양하고, 안정된 PWM 파형을 발생시킬 수 있어 다른 마이크로컨트롤러를 사용하는 경

우 보다 안정된 유도전동기 속도제어기의 구동부를 구현할 수 있다.

본 논문에서는 유도전동기의 속도를 제어하기 위하여 퍼지논리를 이용하고, 유도전동기를 회전시키기 위한 PWM 파형을 마이크로컨트롤러를 이용한 공간전압벡터와 PWM 파형 발생기를 이용하여 생성하고자 한다. 또 구현한 시스템으로 실험을 행하여 속도지령이 변하며, 잦은 부하변동과 외란에 영향을 받기 쉬운 곳의 유도전동기 구동장치에 적합함을 입증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 동작원리

전체 시스템의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 전동기의 엔코더로부터 현재 속도를 카운트와 래치를 통하여 입력받은 값과 지령속도를 비교하여 지령속도와와의 현재 속도 차이인 오차와 오차의 변화량을 계산, 도출한다. 이 두 값으로 퍼지논리에서 실제 전동기를 회전시킬 주파수의 변화량을 구하고, 현재의 주파수 명령에 더하여 공간전압벡터 변조로직으로 이용하게 된다.

공간전압벡터 변조로직에서는 그 주파수 지령에 해당하는 3상 PWM파형의 듀티비에 해당하는 값을 일정 V/F 제어방식으로 생성하여 출력한다.

마이크로컨트롤러에서 출력된 PWM 듀티비는 PWM 발생기로 입력되고, PWM발생기에서는 그 듀티비에 해당하는 PWM 파형을 만들어 내게 된다. 이 PWM 신호는 절연의 목적인 포토커플러를 거쳐 IPM(Intelligent Power Module)으로 입력되고, IPM에서는 PWM파형에 따른 전력을 전동기에 공급한다. 유도전동기 자체에 부착되어있는 엔코더에서는 전동기의 회전수에 상당하는 주파수의 펄스가 출력되어 카운터로 다시 입력되어 비교된다.

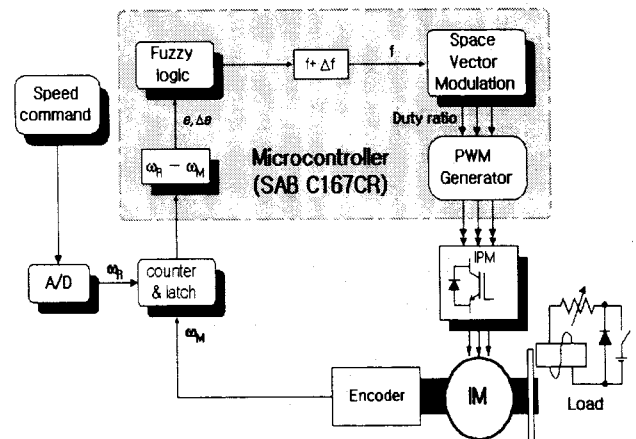


그림 1 시스템의 전체 구성도

2.1 퍼지 논리 제어기의 설계

본 논문에서는 잦은 부하변동과 속도지령의 변화를 가지는 조건을 가정하고 제어대상의 동작에 대한 최소한의 지식만으로도 설계가 가능하고, 직관적, 간단, 실행이 쉬운 장점이 있는 퍼지 논리 제어기를 이용하였다.

퍼지 논리제어기는 어떤 현상의 불확실한 상태를 수량적 정보로 다루는 수학적 기법의 일종으로서, 인간의 사고나 정의의 모호함을 정량적으로 해석하기 위하여 1965년 미국 캘리포니아 버클리대학의 L. A. Zadeh 교수에 의해서 제안된 이론으로서 멤버쉽함수(Membership Function)가 도입되었으며, 퍼지논리(Fuzzy logic) 또는 퍼지숫자(Fuzzy number)라고도 한다.

퍼지 논리 제어기의 입력변수로서 속도오차 E와 오차의 변화량 ΔE, 출력변수로서 속도지령 주파수의 변화량 Δf를 사용하며 각각 다음과 같이 표현된다.[1]

$$\begin{aligned} E &= \omega^*(n) - \omega(n) \\ \Delta E &= E(n) - E(n-1) \\ \Delta f &= f(n) - f(n-1) \end{aligned} \quad (1)$$

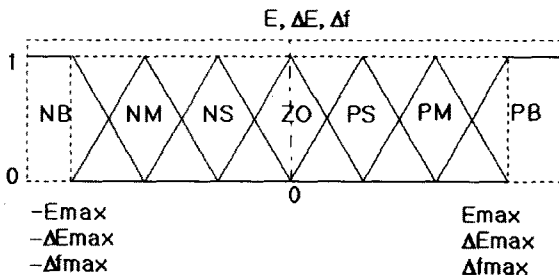


그림 2 멤버쉽 함수

각 변수에 대한 소속 함수는 그림2와 같다. 여기서 NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB는 언어적인 변수로서 다음과 같다.

- NB : Negative Big
- NM : Negative Midium
- NS : Negative Small
- ZO : Zero
- PB : Positive Big
- PM : Positive Midium
- PS : Positive Small

실 시스템에 적용할 퍼지제어기를 설계하기 위해서는 그 시스템에 적합한 퍼지제어 규칙을 찾아야 한다. 각 구간별 요구되는 이득 변화의 크기와 방향을 분석하고 이것을 언어적 표현으로 규칙화한다.

- (1) E가 PB이고 ΔE가 ZO이면 Δf는 PB이다.
- (2) E가 ZO이고 ΔE가 NB이면 Δf는 NB이다.
- (3) E가 NB이고 ΔE가 ZO이면 Δf는 NB이다.
- (4) E가 ZO이고 ΔE가 PB이면 Δf는 PB이다.
- (5) E가 PM이고 ΔE가 ZO이면 Δf는 PM이다.
- (6) E가 ZO이고 ΔE가 NM이면 Δf는 NM이다.

위의 요구 특성을 전체 입력변수 범위에 대하여 적용하여 구한 퍼지규칙은 표1과 같다.

표 1 퍼지 제어규칙

		CHANGE OF ERROR							
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
E R R O R	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PS
	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZO

퍼지추론 및 비퍼지화는 Mizumoto의 간이 Product-sum-gravity방법을 사용하였다. 그림3은 간이 Product-sum-gravity방법을 나타낸 것이며, 퍼지

추론 형태는 식 (2)로 나타낸다.[2]

$$z_0 = \frac{\sum_{i=0}^n h_i z_i}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (2)$$

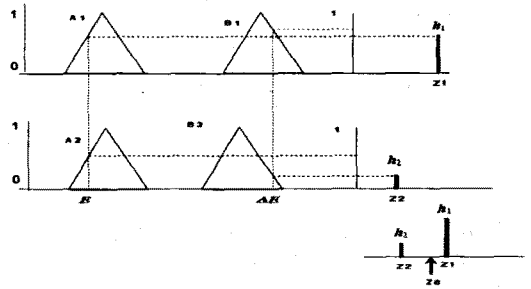


그림 3 비퍼지화

이렇게 속도오차 E와 오차의 변화량 ΔE가 구해지고, 두값으로 속도 지령치에 해당하는 현재주파수에 대한 주파수변화율을 얻을 수 있다.

2.2 PWM 인버터

인버터의 각 스위칭 소자를 구동하기 위해 전압변조가 필요하다. 전압변조는 최적 PWM, 삼각파 비교 PWM, 공간전압벡터 변조법에 의한 PWM 방식 등을 통해 실현하고 있다. 교류 전동기를 구동하는 경우에는 전 운전 영역에서 최대의 토크를 얻기 위해 주어진 직류 링크 전압을 최대한으로 사용할 수 있어야 하고, 고조파의 왜형률을 줄일 수 있어야 하며, 디지털 구현이 용이해야 한다.

이러한 관점에서 볼 때 공간전압벡터 변조법에 의한 PWM방식은 다른 어떤 종류의 PWM 방식 보다도 우수하여 그 적용 범위가 급속히 확대되고 있는 변조기법이다.[3] 본 연구에서는 유도전동기 구동용 PWM 파형발생을 위하여 공간전압 벡터 PWM기법을 사용하였다.

전압벡터는 선간전압이 0인 제로점(V0점, V7점)과 전압을 발생시키는 이웃하는 두 벡터로 이루어진 6개의 삼각형으로 구성된 그림 4와 같은 정육각형을 따라 회전한다. 각각의 삼각형을 섹터라고 하며 전압벡터를 발생시키는 스위치들의 도통시간을 유지시켜줌과 동시에 전압벡터를 V1→V2→V3→V4→V5→V6의 방향으로 회전시키거나, 그 반대방향으로 회전시킴으로 출력전압을 거의 정현파에 가까운 전압으로 변조한다. 이때 각각의 섹터별 전압벡터의 체제시간은 다음과 같다.[3]

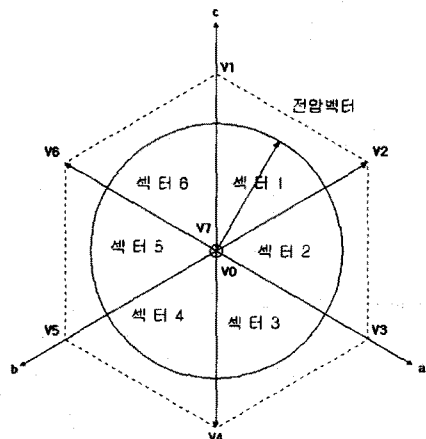


그림 4 평면상의 전압벡터의 제적

$$T_1 = mT_s \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_r\right)$$

$$T_2 = mT_s \sin \theta_r$$

$$T_s: \text{스위칭주기}, \theta_r: \text{변조각}$$

m은 변조지수(modulation index)로서 다음과 같다.

$$m = \frac{|V_0(t)|}{E/\sqrt{3}}$$

V_0 를 유지하는 시간 T_0 는 다음과 같다.

$$T_0 = T_s - T_1 - T_2$$

또한, 최대 출력전압은 다음과 같다.

$$\max |V_0(t)| = \frac{E}{\sqrt{3}}$$

각 점에서의 체제시간을 이용하여 그때의 펄스 듀티비를 구하게 된다.

2.3 PWM 발생기

PWM파형은 마이크로컨트롤러에 기본 내장된 4채널의 PWM 신호 발생기중 3채널을 이용하여 3상 PWM 신호를 발생시킨다. 이 PWM 발생 방법에는 Burst, Standard, Symmetrical, Single shot인 4종류가 있는데, 그 중 Standard(Edge Aligned) PWM 방법을 이용한다. PWM 신호 발생기 사용자 사용자가 설정해야 하는 부분은 주기 레지스터, 카운터 방법 레지스터, 펄스폭 레지스터이다. 주기 레지스터는 0.139ms(약 7.2kHz)로 한다. 이 주기 레지스터는 곧 PWM 스위칭 주파수가 되므로 너무 낮게되면 파형의 왜곡이 크게된다. 카운터 방법 레지스터는 업 카운트 방법을 이용한다. 펄스폭 레지스터는 공간전압벡터에서 발생한 듀티비를 이용한다. 출력값은 초기에 low 신호를 유지하고 있다가 업카운트를 수행하면서 펄스폭 레지스터값과 주기 레지스터를 곱한 값이 되면 high 신호를 출력한다.[4]

2.4 마이크로컨트롤러, 인버터, 실험전동기

SAB C167CR은 16Bit 단일칩 CMOS 마이크로컨트롤러이다. 기능을 살펴보면 시스템 주클럭으로는 20MHz 클럭을 사용하고, 동기/비동기의 시리얼 포트, 내장 CAN(Controller Area Network) 인터페이스, 16채널 10Bit A/D 컨버터, 두 개의 16채널 CAP/COM, 4채널 PWM, 2개의 Timer, 8채널 PEC(Data trans channel), Bootstrap 기능, 왓치도그 타이머 등을 내장하고 있다.

인버터에 사용된 전력용 반도체 소자로서는 IGBT가 6조 내장되어 있고, IGBT구동회로, 각종 보호회로 등이 조합되어있는 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하였다.

이 실험에 사용된 전동기는 Lab-Volt사의 175W, 120/208V, 60Hz, 1.2A, 1670rpm의 정격을 가진 4극 농형 유도 전동기이며 이에 연결된 부하장치 또한 같은 회사의 0~3 N·m의 토크, 250~5000rpm의 정격을 가진 전자부하장치를 사용하였다.

2.4 실험 결과 및 고찰

* 속도지령 - 계단입력(1250rpm)

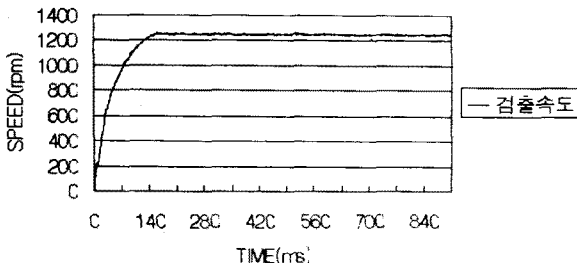


그림 5 피지제어를 사용한 계단응답

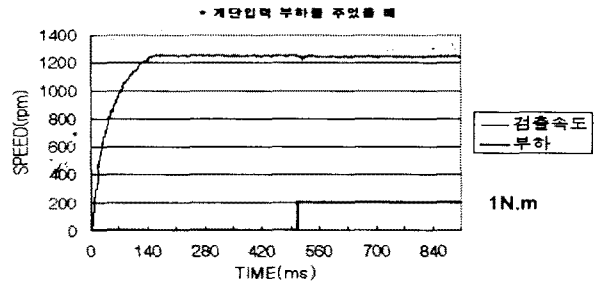


그림 6 부하를 주었을 때의 계단응답

* 삼각파 속도지령 - 1s

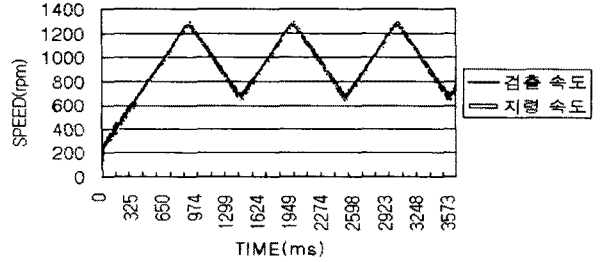


그림 7 삼각파 속도지령을 주었을 때의 속도응답

피지속도제어의 부하에 대한 적응성 및 속도응답특성을 위한 실험을 행하였다. 유도전동기의 속도지령을 1250rpm 계단입력으로 주었을 때 계단된 시스템의 실험결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 부하를 인가하였을 때 속도는 약간 변한 후 50ms만에 원래의 회전속도로 회복됨을 그림 6에서 보여주고 있다. 또 지령속도를 잘 추종함을 보이기 위하여 주기가 1초인 삼각파 형태의 속도지령을 그림 7과 같이 인가하였고, 잘 추종함을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 유도전동기의 속도를 제어하기 위하여 피지논리를 이용하였다. 교류 유도전동기를 회전시키기 위한 PWM 파형을 마이크로컨트롤러를 이용한 공간전압벡터를 이용하여 디지털적으로 생성하였고, 피지제어를 이용하여 지령속도를 잘 추종할 수 있도록 하였다. 피지제어기는 유도전동기에 대한 자세한 지식이 없어도 좋은 성능을 가진 속도제어 시스템을 설계할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

실험결과로부터 본 시스템은 빠르고, 외란에 강하고, 지령속도도 잘 추종함을 확인할 수 있었다. 따라서 연속적으로 속도지령이 변하며, 잦은 부하변동과 외란에 영향을 받지 쉬운 곳의 유도전동기 구동장치에 적용함이 적합하리라 생각된다.

본 연구는 전남대학교 지역협력연구센터(RRC) 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] M.Jamshidi, N.Vadiee and T.J.Ross, "FUZZY LOGIC and CONTROL: Software and Hardware Application, U.S.A:PTR Prentice-Hall, Inc., 1993
- [2] B.K.Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drive", U.S.A:IEEE PRESS, 1997
- [3] 서영수, 성대용, "공간전압벡터 PWM 전류제어방식에 의한 유도전동기의 서보운전", '96대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.467-469, 1996.
- [4] Automatic Control Lab, "Siemens 80C167 User's Manual", Chonnam National UNIV, 1997