

DSP를 이용한 초고속 전동기 구동시스템에 관한 연구

권중혁*, 안재황*, 백동기**, 성세진*

* 충남대학교 전기공학과, ** 주성전문대학교

A Study for the high speed motor drive system using DSP

Jong-Hyeuk Kwon*, Jae-Hwang Ahn*, Tong-Ki Paek**, Se-Jin Seong*

* Chungnam National University, ** Jusung University

Abstract

Recently the needs and the interest for the high speed motor drive system is increased in many different fields.

So in this paper, the high speed motor drive system is proposed to drive the high speed motor using DSP which was developed in order to process datas at high speed. The motor drive is performed using a variable V/f PWM control.

전체의 내원심력이나 냉각방식등의 문제점이 야기 될으로써 기존의 전동기와는 구조면에 있어서 다소 차이가 나며 설계 및 특성상으로도 차이를 나타나게 된다. 또한 구동장치도 Drive회로에서 고주파화가 요구되어지기 때문에 스위칭 속도가 고속이 됨에 따른 스위칭손실 또한 문제시 되고 있다. 따라서 전동기 속도 제어용 각종 전력변환장치도 개념을 달리해야 한다.

이에 본 논문에서는 고속처리가 가능하도록 개발된 DSP를 이용한 초고속 전동기 구동 시스템에 관하여 연구하였다.

1. 서론

최근 고속을 필요로 하는 부하의 증가와 장치의 소형, 경량화의 요구가 증가함에 따라 전동기 고속 구동시스템에 대한 요구와 관심이 높아지고 있다. 고속을 요하는 부하로서는 미생물 분야에서 사용되고 있는 원심분리기나, 섬유공장에서 사용되는 기계등이 있고, 경량화를 요구하는 분야는 비행기, 선박, 차량등에 들어가는 주변장치들을 소형, 경량화함으로써 보다 넓은 공간확보와 연료절감등에 기여할 수 있기 때문에 초고속 전동기에 대한 요구가 증가하고 있다.

이러한 초고속 전동기로서는 직류기보다는 교류기가 주로 사용되어지고 있는데, 기계적 구조면은 물론 유지보수나 내수, 내환경성등에서 우수하기 때문이며, 최근들어 전력전자 제어기술의 발달로 교류기의 제어성이 직류기 못지 않게 높아져서 초고속 전동기 영역에서의 교류기의 위치가 확고해지고 있다. 하지만, 전동기가 고속화됨에 따라 회

2. 유도전동기 해석

다음 그림은 이상적인 2극 3상 유도전동기를 나타낸 것이다. 고정자와 회전자의 권선은 집중권이다.

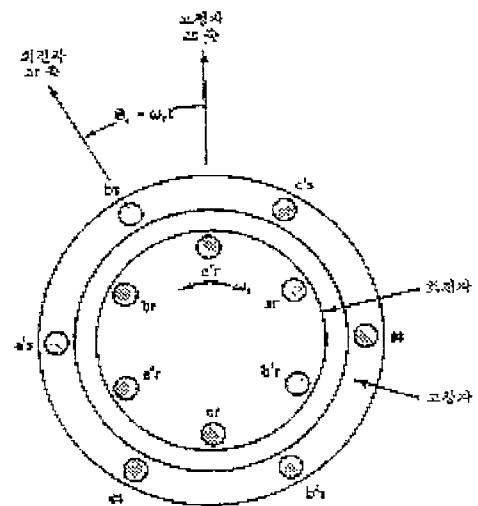


그림 1. 이상적인 유도전동기

권선의 분포가 이상적이 아닌 경우이거나 전압 및 전류파형이 사인파가 아닐 경우에 발생하는 고 주파의 영향을 무시한다면 전동기의 동기속도는

$$N_e = \frac{120f_e}{P} \quad (1)$$

이다. 또한 동기속도와 의 속도차인 슬립 S는

$$S = \frac{N_e - N_r}{N_e} = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} = \frac{\omega_{sl}}{\omega_e} \quad (2)$$

< ω_e : 고정자각주파수, ω_r : 회전자전기각속도
 ω_{sl} : 슬립각주파수 >

이다.

다음 그림은 회전자의 전압, 전류 파형과 그로 인 해 발생하는 토크를 파형으로 나타내는 것이다.

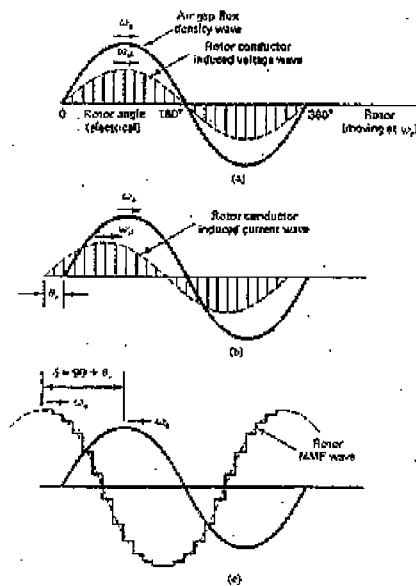


그림 2. 자속과 회전자기력에 의한 토크발생도

유도전동기에서 발생하는 토크를 슬립 S의 함수 로서 표현하면 다음과 같다.

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \frac{R_r}{S\omega_e} \frac{V_s^2}{(R_s + R_r/S)^2 + \omega_e^2(L_s + L_{lr})^2} \quad (3)$$

이 때, 기동토크 $T_{es}(S=1)$ 은 다음과 같다.

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \frac{R_r}{\omega_e} \frac{V_s^2}{(R_s + R_r)^2 + \omega_e^2(L_s + L_{lr})^2} \quad (4)$$

3. System의 구성

3.1 DSP의 개요

DSP는 Digital Signal Processor의 약자로서 디지털 신호처리를 의미하며, DSP전용소자는 디지털 신호를 신속하게 처리하기 위해 개발되어진 소자를 뜻한다. DSP는 빠른 연산을 주목적으로 데이터를 신속하게 처리하기 위해 개발되었기 때문에 일반 CPU보다 입출력 기능은 빈약하지만 고속연산이 가능하고 비교적 저가라는 점에서 인정받고 있어서 여러분야에 걸쳐 폭넓게 사용되어지고 있다. DSP는 주로 제어용 혹은 신호처리용으로 개발되어졌기 때문에 전력전자제어, 레이더제어, 음성 합성 및 인식등에 응용되어질 수 있다. 또한 범용 CPU와 비교하였을 때, 범용 CPU가 방대한 프로그램을 처리하는 목적으로 다양한 어드레스 모드와 복잡한 메모리 처리부등을 보유하고 있으나 DSP에서는 연산효율의 향상을 위해 간단한 어드레스 및 메모리 구조를 갖도록 되어있다. 또한 최근에는 곱셈기의 내장이나, 부동소수점 연산이 가능한 DSP가 개발되어져서 더더욱 연산이 빨라졌으며 프로그램 개발 또한 훨씬 간편하게 되었다.

3.2 전압형 PWM 인버터의 구성

다음 그림은 인버터의 기본블록도를 나타내고 있다.

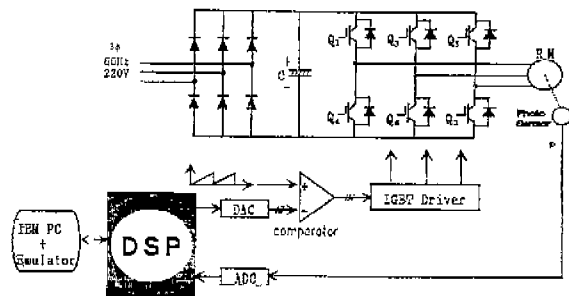


그림 3. 인버터의 기본 블록도

일반적인 PWM방식에서 BPWM(Bipolar PWM)과 UPWM(Unipolar PWM)방식이 있는데, UPWM 방식은 반주기 동안은 상단 스위칭을 하고 다음 반주기동안에는 하단 스위칭을 함으로써 BPWM 방식에 비해서 한주기에서의 switching 횟수를 절반으로 줄일수 있다.

PWM 인버터 방식을 사용함으로써 얻을수 있는 잇점은 다음과 같다.

a) 출력에 포함된 기본파 크기 제어

- 인버터의 출력전압 제어
- 제어정류기의 출력전압 제어

b) 고조파 성분 저감

- 전압형 인버터의 출력전압의 고조파 억제
- 전류형 인버터의 출력전류의 고조파 억제

그러나 이 방식의 단점으로는 이용 가능한 전압이 감소되고 수 KHz까지 정현파 출력을 얻도록 PWM 제어를 행하여야 하고 carrier 주파수를 극도로 높게 할 필요가있어 switching 손실이 크다는 점이 문제시 되고 있다.

3.3 제어 방식

유도전동기에서 평균토크를 제어하는 대표적인 제어방식으로는 v/f 제어방식과 슬립주파수 제어방식이 있다.

3.3.1 v/f 일정 제어

초고속 회전의 제어방식에 있어서 가장 간단하고 많이 사용되어 온 것이 v/f 일정제어 방식이다. 이 제어 방식은 모터의 회전속도를 검출하는 일이 없이 인버터에서 고정자 전압의 주파수를 설정함으로써 지령치에 도달하도록 하는 방식임으로, 급가감속 운전에는 적합하지 않지만 초고속 회전운동에는 적합한 방식이다. 그러나 제어법이 간단하고 쉽다는 장점이 있는 반면에 open loop 방식이므로 부하가 인가되었을 때는 회전자 슬립의 증가나 모터의 속도가 서서히 감소한다는 단점이 발생하게 된다.

3.3.2 슬립주파수 제어

슬립주파수 제어는 유도 모터의 회전 각주파수 ω_m 을 검출하여 feedback해서 이것에 설정한 슬립주파수 ω_s 를 가산 또는 감산하여 1차전류의 각주파수 ω 를 결정하는 제어법이다. 이러한 슬립주파수 제어에는 가산해야할 슬립주파수를 일정한 값을 사용하는 슬립주파수 일정제어와 1차 전류의 크기에 따라서 슬립주파수를 제어하는 슬립주파수 가변제어가 있다.

3.3.3 v/f 가변 제어

토크식은 다음과 같이 된다.

$$T \propto \left(\frac{V_s}{f} \right)^2 \quad (5)$$

여기에서 v/f 비를 일정하게 유지하면 정토크운전을 행할 수있다. 가속을 할 때에는 v/f 비를 일정하게 하여 일정토크를 발생시켜서 속도를 상승시키고, 정격속도에 도달하게 되면 전압은 일정하게 둔 상태에서 주파수만을 가변하여서 속도를 제어하게 된다.

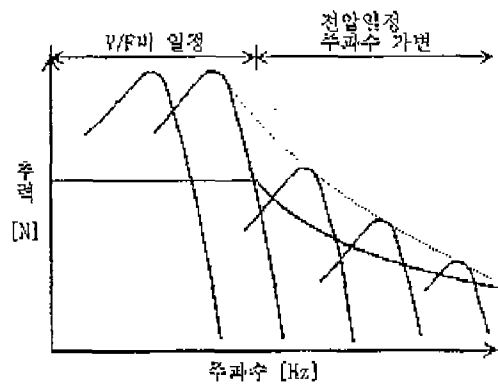


그림 4. 전압-토크 특성 곡선

따라서 본 논문에서는 v/f 가변제어를 적용하여서 정격속도에 도달할 때까지는 v/f 일정제어를 하여서 일정토크를 발생하고 부하가 인가되었을 경우에는 모터에 부착시킨 속도센서를 통해 모터의 속도를 feedback 하여서 주파수를 가변함으로써 지령속도에 도달할 수 있도록 한다. 또한 정격속도까지 속도지령치를 4단계로 구분하여서 검출속도를 단계적으로 비교하여 슬립의 증가를 방지하도록 하여서 점차적으로 속도를 증가시키도록 하였다.

구분 \ 단계	I	II	III	IV
지령속도 (rpm)	5000	10000	15000	20000
지령주파수 (Hz)	f1 73.33	f2 166.67	f3 250.00	f4 333.33

표 1 단계별 속도 및 주파수

4. Simulation

다음 그림은 simulation을 나타내는 전체적인 시스템 블록도이다.

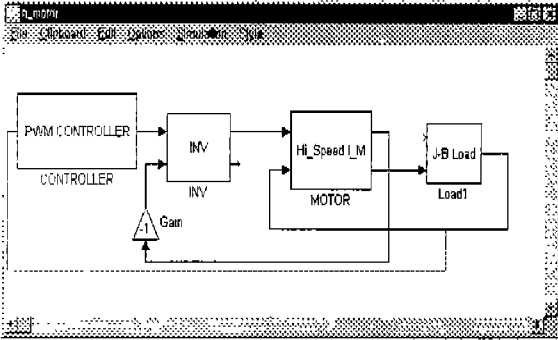


그림 5. 시스템 블록도

Simulation은 open loop 상태에서 v/f 일정제어를 한 것과 슬립의 증가를 방지하기 위해 4단계로 지정속도를 나누어서 주파수를 가변한 방식의 두 가지를 비교하기 위한 것이다.

Simulation에 사용되어진 유도전동기의 파라미터는 다음과 같다.

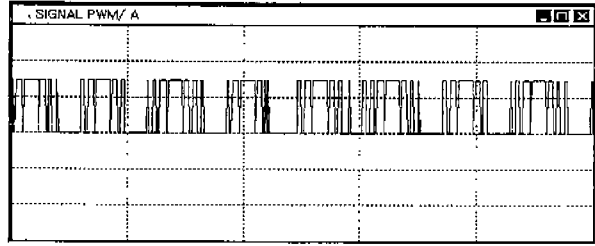
파라미터	파라미터 값
rs	1.3 [Ω]
rr	1.58 [Ω]
Ls	0.0353 [mH]
Lr	0.0348 [mH]
J	17.9 × 103 [kgm ²]
M	0.0334 [mH]

표 2 유도전동기 파라미터

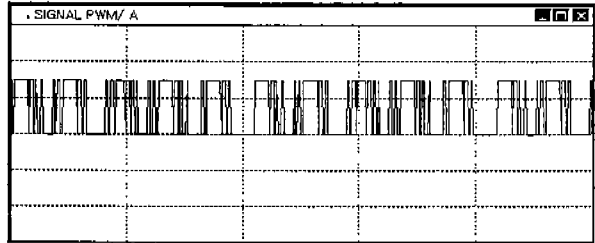
그림 6은 각 단계별로 PWM제어를 통한 switch 펄스파형을 나타내고 있다.



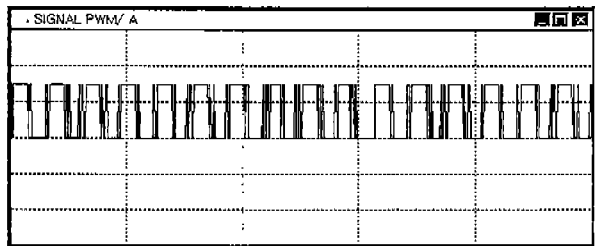
(a) 1단계



(b) 2단계



(c) 3단계



(d) 4단계

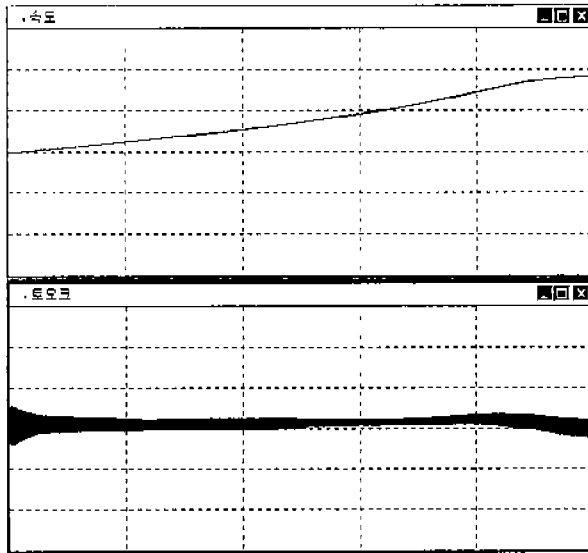
그림 6. 각 단계별 switching 파형

그림 6의 각 그림에서 알 수 있는 것처럼 각 단계별로 지정해 준 속도가 다르기 때문에 그에 따른 PWM제어를 통한 인버터에 인가되는 스위칭 파형이 다르게 나타나고 있다. 속도가 빨라짐에 따라 스위칭 펄스의 간격이 더 좁아지고 있음을 알 수 있다.

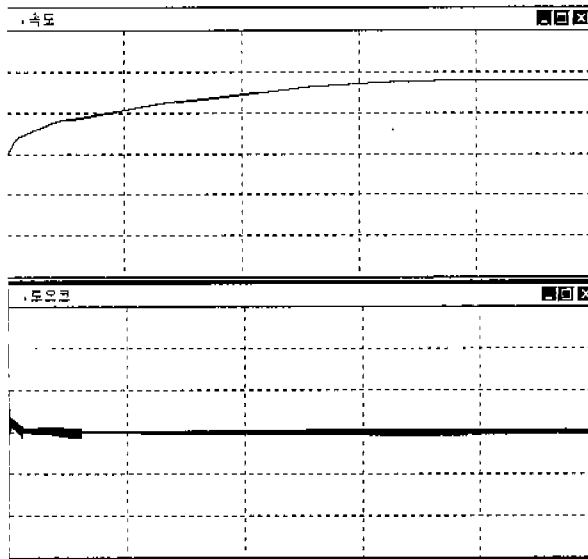
다음의 그림 7은 제어를 하지않은 open loop상태에서 v/f 일정제어를 한 경우와 단계별 속도 지령치를 지정해 준 상태에서 주파수를 가변해 준 경우와의 출력 토크와 속도를 비교한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이 정격속도 20,000 rpm에도달하는데 있어서 v/f 일정제어보다는 가변제어를 한 경우가 훨씬 더 빠르다는 것을 알 수 있다.

또한 토크리플도 v/f 일정제어보다는 훨씬 적은 것을 알 수 있다.



(a) v/f 일정제어시



(b) 단계별 속도 지령시

그림 7. 두 방식의 속도 및 토크 비교

5. 결론

본 논문에서는 데이터의 고속처리가 가능하도록 개발되어진 DSP를 이용한 고속전동기 구동시스템에 관한 논문으로써 고속전동기 제어에 일반적으로 사용되어지는 v/f 일정제어 방식과 단계별로 속도지령치를 달리하여 보다 빠르게 정격속도에 도달할 수 있도록 속도를 검출하여 그에 따른 주파

수를 변화시키는 v/f 가변제어방식을 비교하였다. Simulation 과형에서도 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방식이 보다 빨리 정격속도에 도달하였음을 알 수 있었다.

추후에는 고주파 스위칭에 따른 스위칭손실 및 EMI 문제, 효율 향상등에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 深尾 正 外 2人, “超高速リラクタンس電動機閉ループ制御の一方式” : 電學論D, 107卷 2号
2. 千葉深 明 外 1人, “超高速リラクタン스電動機的高速トルク制御方式” : 電學論D, 107卷 10号
3. B. K. Bose “Power Electronics & AC Drives” : Prentice Hall, 1986
4. 赤木 泰文 外 2人, “AC サーボモータとマイコン制御” : 綜合電子出版社