DSP를 이용한 초고속 전동기 구동시스템에 관한 연구

Jong-Hyeuk Kwon*, Jae-Hwang Ahn¹, Tong-Ki Paek¹**, 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 data at high speed. The motor drive is performed using a variable V/f PWM control.

1. 서론

최근 고속을 필요로 하는 부하의 증가와 장치의 소형, 경량화의 요구가 증가함에 따라 전동기 고속 구동시스템에 대한 요구가 확실히 늘어지고 있다. 고 속을 요구하는 부하로서는 미생물 분야에서 사용되고 있는 원심분리기나, 산유공장에서 사용되는 기계등이 있고, 경량화를 요구하는 분야는 비행기, 선박, 자원등에 들어가는 주변장치들중 소형 경량화함으로써 보다 넓은 공간확보와 연료감축등에 기여할 수 있기 때문에 초고속 전동기에 대한 요구가 증가하고 있다.

이러한 초고속 전동기로서는 적극적인 보다로 유연하다고 볼 수 있으며, 기계적 구조물은 물론 유지보수나 내수, 대환경정화등에서 우수하기 때문에, 최근들어 전력전자 제어기술의 발달로 교류기의 제어성이 적극적 몇 가지 개선가능한 범위가 확대되고 있다. 하지만, 전동기가 고속화됨에 따라 회전체의 내원심력이나 낫각방식등의 문제점이 아기됨으로써 기존의 전통기와는 구조면에 있어서 다소 차이가 나며 설계 및 특성상으로도 차이를 나타나게 된다. 또한 구동장치도 Drive회로에서 고주파화가 요구되기에 때문에 스위칭 속도가 고속이 됨에 따른 스위칭손실 또한 문제로 되고 있다. 따라서 전동기 속도 제어용 각종 전력변환장치도 개발을 필요하게 된다.

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

2. 유도전동기 해석

다음 그림은 이상적인 2극 3상 유도전동기를 나타낸 것이다. 고정자와 회전자의 편선은 접촉선이다.

![Diagram 1. Ideal Induction Motor](image_url)
권선의 분포가 이상적이 아닌 경우이거나 전압 및 전류 과정이 사인파가 아닌 경우에 발생하는 고주파의 영향을 무시한다면 전동기의 동기속도는

\[ N_s = \frac{120f_e}{P} \]  

(1)

이다. 또한 동기속도와의 속도차인 슬립 S는

\[ S = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} = \frac{\omega_{sl}}{\omega_e} \]  

(2)

\(<\omega_e: 고정잡각주파수, \omega_r: 회전기전각주파수, \omega_{sl}: 슬립각주파수>

이다.

다음 그림은 회전자의 전압 전류 과정과 그로 인해 발생하는 토크를 과정으로 나타내는 것이다.

그림 2. 자속과 회전자기력에 의한 토크 발생도

유도전동기에서 발생하는 토크는 슬립 S의 함수로서 표현할 수 있다.

\[ T_s = 3\left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{S \omega_e} \left(\frac{R_s + R_r}{S}\right)^2 + \omega_e^2 (L_s + L_{ip})^2 \]  

(3)

이 때, 기동토크 \( T_e(S=1) \) 은 다음과 같다.

\[ T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{\omega_e} \left(\frac{R_s + R_r}{\omega_e}\right)^2 + \omega_e^2 (L_s + L_{ip})^2 \]  

(4)

3. System의 구성

3.1 DSP의 개요

DSP는 Digital Signal Processor의 약자로서 디지털 신호처리를 의미하며, DSP 전용소자는 디지털 신호를 신속하게 처리하기 위해 개발되어진 소자로 틀린다. DSP는 빠른 연산을 주목적으로 데이터를 신속하게 처리하기 위해 개발되었기 때문에 일반 CPU보다 단일작용, 소수연산이 가능하며 비교적 저가라는 점에서 인정받고 있어서 여러분야에 걸쳐 광범위하게 사용되어지고 있다. DSP는 주로 메이저 혹은 신호처리용으로 개발되었기 때문에 전력전자계, 레이다, 음성 합성 및 인식 등에 응용되어질 수 있다. 또한 병렬 CPU와 비교하였을 때, 병렬 CPU가 방대한 프로그램을 처리하는 옵션이 오랜 기간 동안 어드레스 모드와 복잡한 메모리 구조를 갖도록 되어있다. 또한 최근에는 클램프기의 내장이나, 부동소수점 연산이 가능한 DSP가 개발되어지면서 다목적 연산이 발달되며 프로그램 개발 또한 점점 간편하게 되었다.

3.2 전압형 PWM 인버터의 구성

다음 그림은 인버터의 기본구조도를 나타내고 있다.

그림 3. 인버터의 기본 구조도

일반적인 PWM 방식에서 BPWM(Bipolar PWM)과 UPWM(Unipolar PWM) 방식이 있는데, UPWM 방식은 반주기 동안 원점 상단 스위칭을 하고 다음 반주기동안에는 하단 스위칭을 함으로써 BPWM방식에 비해서 반주기에서의 switching 횟수를 절반으로 줄일수 있다.

-437-
PWM 인버터 방식을 사용함으로써 임원 수 있는
인정은 다음과 같다.
a) 출력에 포함된 기본과 크기 제어
  - 인버터의 출력전압 제어
  - 제어정류기의 출력전압 제어
b) 고조파 성분 제거
  - 전압형 인버터의 출력전압의 고조파 억제
  - 전류형 인버터의 출력전류의 고조파 억제
그러나 이 방식의 단점을 이용 가능한 전압
이 감소되고 수 KHz까지 성형과 출력을 얻도록
PWM 제어를 행하여야 하고 carrier 주파수를 극
도로 높게 할 필요가 있어 switching 손실이 크게
는 점이 문제시 되고 있다.

3.3 제어 방식

유도전동기에서 평균토크를 제어하는 대표적인
제어방식으로는 v/f 제어방식과 슬립주파수 제어방
식이 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 제한하는 일이 없
이 인버터에서 고정자 전압의 주파수를 설정함으
로써 저전력에 도달하도록 하는 방식으로, 급가
감속 운전에는 적합하지 않지만 초고속 회전운동
에는 적합한 방식이다. 그러나 제어범위가 제한하고
난다는 장점이 있는 반면에 open loop 방식이므로
부하가 인가되었을 때는 회전자 슬립의 증가나 모
터의 속도가 서서히 감소한다는 단점이 발생하게
된다.

3.3.2 슬립주파수 제어

슬립주파수 제어는 유도 모터의 회전 각주파수 \( \omega_m \)을 검출하여 feedback에서 이것에 설정한 슬립주
파수 \( \omega_s \)를 가산 또는 감산하여 1차전류의 각주파
수 \( \omega_s \)을 결정하는 제어법이다. 이러한 슬립주파수
제어에서는 가산해야 할 슬립주파수를 임의의 값을
사용하는 슬립주파수 일정제어와 1차 전류의 크기
에 따라서 슬립주파수를 제어하는 슬립주파수 가
변제어가 있다.

3.3.3 v/f 가변 제어

토크식은 다음과 같이 된다.

\[
T \propto \left( \frac{V_s}{f} \right)^2
\]

여기에서 v/f 비율 일정하게 유지하면 철도크운장
을 행할 수 있다. 가속을 할 때에는 v/f 비율 일정
하게 하여 일정토크를 발생시키며 속도를 상승시
키고, 정격속도에 도달하게 되면 전압은 일정하거
문 상대에서 주파수만을 가변하여서 속도를 제어
하게 된다.

![그림 4. 전압-토크 특성 곡선](image)

따라서 본 논문에서는 v/f 가변제어를 적용하여서
정격속도에 도달할 때까지는 v/f 일정제어를 하여
서 일정토크를 발생하고 부하가 인가되었을 경우
에는 모터에 부착된 속도센서를 통해 모터의 속
도를 feedback 하여서 주파수를 가변함으로써 지
명속도에 도달할 수 있도록 한다. 또한 정격속도까
지 속도조절치를 4단계로 구분하여서 검출속도를
단계적으로 비교하여 슬립의 증가를 방지하도록
하여서 점차적으로 속도를 증가시키도록 하였다.

<table>
<thead>
<tr>
<th>단계</th>
<th>I</th>
<th>II</th>
<th>III</th>
<th>IV</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>지명속도 (rpm)</td>
<td>5000</td>
<td>10000</td>
<td>15000</td>
<td>20000</td>
</tr>
<tr>
<td>지명주파수 (Hz)</td>
<td>f1</td>
<td>f2</td>
<td>f3</td>
<td>f4</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>73.33</td>
<td>166.67</td>
<td>250.00</td>
<td>333.33</td>
</tr>
</tbody>
</table>

표 1 단계별 속도 및 주파수

-488-
4. Simulation

다음 그림은 simulation을 나타내는 전체적인 시스템 블록도이다.

![시스템 블록도](image)

그림 5. 시스템 블록도

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

Simulation에 사용되어진 유도전동기의 파라미터는 다음과 같다.

<table>
<thead>
<tr>
<th>파라미터</th>
<th>값</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>rs</td>
<td>1.3 [Ω]</td>
</tr>
<tr>
<td>rr</td>
<td>1.58 [Ω]</td>
</tr>
<tr>
<td>Ls</td>
<td>0.0353 [mH]</td>
</tr>
<tr>
<td>Lr</td>
<td>0.0348 [mH]</td>
</tr>
<tr>
<td>J</td>
<td>17.9 × 103 [kgm²]</td>
</tr>
<tr>
<td>M</td>
<td>0.0334 [mH]</td>
</tr>
</tbody>
</table>

표 2. 유도전동기 파라미터

그림 6은 각 단계별로 PWM계어를 통한 switch 편스프로파르의 나타내고 있다.

![표 2 유도전동기 파라미터](image)

그림 6. 각 단계별 switching 과정

그림 6의 각 그림에서 알 수 있는 것처럼 각 단계별로 지연해 준 속도가 다르기 때문에 그에 따른 PWM계어를 통한 인버터에 인가되는 스위칭 파형이 다르게 나타나고 있다. 속도가 빨라질수록 높은 주파수의 간격이 더 좁아지고 있음을 알 수 있다.

다음의 그림 7은 계어를 하지 않은 open loop 상태에서 v/f 일정계어를 한 경우와 단계별 속도 지연해 준 상태에서 주파수를 가변해 준 경우와의 출력 토크와 속도를 비교한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이 정적속도 20,000 rpm에 도달하는데 있어서 v/f 일정계어보다는 가변계어를 한 경우에 더 빠르다는 것을 알 수 있다.

또한 토크류도 v/f 일정계어보다는 높은 작동하는 것을 알 수 있다.
수를 변화시키는 v/f 가변제어방식을 비교하였다. Simulation 과정에서도 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방식이 보다 빠른 경격속도에 도달하였음을 알 수 있었다.

추후에는 고주파 스위칭에 따른 스위칭손실 및 EMI 문제, 효율 항상중에 대한 연구가 필요되어야 할 것이다.

<참고문헌>
1. 深尾 正 外 2人, "超高速 リラクタンス電動機閉ループ制御の一方式" : 電学論D, 107호 2호
2. 千葉深 明 外 1人, "超高速リラクタンス電動機の高速トルク制御方式" : 電学論D, 107호 10호
4. 赤木 泰文 外 2人, "AC サーボモータとマイコン制御" : 総合電子出版社

그림 7. 두 방식의 속도 및 토큭 비교

5. 결론
본 논문에서는 데이터의 고속처리가 가능하도록 개발된 DSP를 이용한 고속전동기 구동시스템에 관한 논문으로써, 고속전동기 제어에 일반적으로 사용되는 v/f 일정제어 방식과 단계별로 속도저변위를 달리하여 보다 빠르고 경격속도에 도달할 수 있도록 속도를 검출하여 그에 따른 주파수