

MATLAB/SIMULINK와 dSPACE DS1104를 이용한 유도전동기의 간접벡터제어

이 동 민*, 지 준 근
 순천향대학교 전기공학과

Indirect Vector control of Induction motor Using MATLAB/SIMULINK and dSPACE DS1104

Dong-min Lee*, Jun-Keun Ji
 Dept. of Electrical Engineering Soonchunhyang University

Abstract - 본 논문에서는 MATLAB/SIMULINK와 dSPACE DS1104보드를 이용하여 유도전동기의 간접벡터제어 알고리즘을 구현하였다. 유도전동기의 간접벡터제어를 위한 전체 시스템 모델은 SIMULINK 그래픽 모델과 dSPACE DS1104 R&D Control 보드의 Real Time Interface(RTI)를 이용하여 구현한 후에 실험을 수행하였다. 벡터제어를 위해서 전동기 전류의 측정은 16kHz로 측정하였고, 측정된 전류를 이용하여 8kHz로 전류제어기, 4kHz로 속도제어기를 구현하였다. MATLAB과 dSPACE 보드의 컴파일러가 설계된 그래픽 모델의 C source 파일과 object 파일을 자동으로 생성시켜주기 때문에 추가적인 프로그램의 coding 없이 실제 시스템의 시뮬레이션과 실험을 동시에 수행할 수 있으며 원하는 제어성능을 얻을 수 있다.

ω 로 회전하는 좌표계를 기준으로 할 때 $(\omega - \omega_r)$ 의 속도로 회전한다.

$$V_{dr}^w = R_r i_{dr}^w + \frac{d\lambda_{dr}^w}{dt} - (\omega - \omega_r)\lambda_{qr}^w \quad (2.3)$$

$$V_{qr}^w = R_r i_{qr}^w + \frac{d\lambda_{qr}^w}{dt} + (\omega - \omega_r)\lambda_{dr}^w \quad (2.4)$$

또한 고정자와 회전자의 쇠교 자속은 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{ds}^w = L_s i_{ds}^w + L_m i_{dr}^w \quad (2.5)$$

$$\lambda_{qs}^w = L_s i_{qs}^w + L_m i_{qr}^w \quad (2.6)$$

$$\lambda_{dr}^w = L_m i_{ds}^w + L_r i_{dr}^w \quad (2.7)$$

$$\lambda_{qr}^w = L_m i_{qs}^w + L_r i_{qr}^w \quad (2.8)$$

1. 서 론

전동기 구동시스템은 운송과 대부분의 제조공정들에 전기기계적인 에너지 변환기들로서 중요한 역할을 하고 있다. DSP 및 전력전자 소자의 발달로 유도전동기 고성능 제어기술에 대한 연구는 전 세계적으로 지난 수십년 동안 활발하게 진행되고 있다. 또한 제어이론 및 제어기 설계기술의 발전으로 유도전동기 제어시스템이 더욱 복잡하고 다양화됨에 따라 기존 제어시스템 설계과정의 비효율성을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 제어시스템 설계, 시뮬레이션 및 실험을 위한 실행파일 생성 및 구현에 있어 최소한의 프로그램 코딩으로 수행되는 실시간 제어시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 SIMULINK를 이용하여 제어시스템을 모델링하고, DS1104 제어보드의 Real-Time Interface(RTI)를 이용하여 실시간 제어를 구성하였다. 실시간 제어를 위해 IPM으로 구성된 IGBT 인버터를 사용하였고, 0.3KW의 유도전동기구동 실험에 의해 시스템 성능을 확인하였다.

출력 토오크는

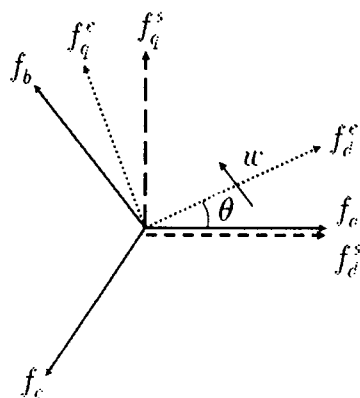
$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dr}^w i_{qs}^w - \lambda_{qr}^w i_{ds}^w) \quad (2.9)$$

이다.

2. 유도 전동기 벡터제어 시스템

2.1 유도 전동기 d-q 등가모델

유도 전동기는 전동기의 인덕턴스가 전동기 속도에 관한 함수로 나타난다. 이 때문에 유도 전동기의 전압 방정식은 전동기가 정지하고 있는 경우를 제외하고는 시변 미분 방정식으로 나타나게 된다. 변수의 좌표변환은 이러한 좌표변환을 통하여 두개의 d, q 직교 좌표계 상의 변수로 변화될 수 있다.



<그림 1> 좌표축 변환의 관계

임의의 속도 ω 로 회전하는 d-q축에서 표시된 유도 전동기의 고정자 전압 방정식은 다음과 같다.

$$V_{ds}^w = R_s i_{ds}^w + \frac{d\lambda_{ds}^w}{dt} - \omega \lambda_{qs}^w \quad (2.1)$$

$$V_{qs}^w = R_s i_{qs}^w + \frac{d\lambda_{qs}^w}{dt} + \omega \lambda_{ds}^w \quad (2.2)$$

회전자가 ω_r 의 속도로 회전하면 회전자에 고정된 d-q축은 임의의 속도

2.2 간접 벡터 제어

고성능의 토오크와 자속 제어를 위해서는 전동기에 공급되는 고정자 전류를 기준 자속에 직교되는 성분(토오크분 전류)과 일치하는 성분(자속분 전류)으로 나누어 각각 제어하여야만 한다. 회전자 자속 기준 간접 벡터 제어는 회전자 자속의 순시 속도, ω_e 를 적절히 제어하여 회전자 자속이 d축에만 존재하도록 제어하는 것이다.

식 (2.1)에서 식 (2.9)의 식에 $\omega = \omega_e$ 를 대입하면 동기 속도로 회전하는 좌표계로 표시된 유도 전동기의 d-q 식을 얻을 수 있다. 이 식들에서 회전자 자속이 d축에만 있다고 가정하면 $\lambda_r^e = \lambda_{dr}^e + j\lambda_{qr}^e = \lambda_{ds}^e$ 이다. 즉,

$$\lambda_{qr}^e = 0 \quad (2.10)$$

식 (2.10)을 식 (2.8)에 대입하여

$$i_{qs}^e = -\frac{L_r}{L_m} i_{qr}^e \quad (2.11)$$

을 얻을 수 있다.

또, 식 (2.10)을 식 (2.9)에 대입하여 토오크 식을 식 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e i_{qs}^e \quad (2.12)$$

식 (2.3), (2.4)로부터 슬립속도 및 d축 자속은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_e - \omega_r = \omega_{sl} = -\frac{R_r i_{qr}^e}{\lambda_{dr}^e} = \frac{R_r}{\lambda_{dr}^e} \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e \quad (2.13)$$

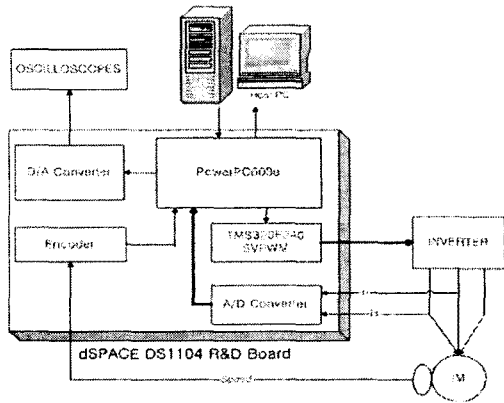
식 (2.9)에 따라 필요한 i_{ds}^e 와 i_{qs}^e 값에 의해 ω_{sl} 이 결정되면 회전자 자속의 위치, θ_e 는 다음 식과 같이 구해질 수 있다.

$$\theta_e = \int_0^t \omega_e dt = \int_0^t (\omega_r + \omega_{sl}) dt \quad (2.14)$$

이상과 같이 간접 벡터 제어는 θ_e 를 통하여 슬립각 속도 ω_{sl} 을 제어하여 고정자 전류의 분배비를 제어하고 이를 통하여 간접적으로 $\lambda_{qr}^e = 0$ 이 되도록 제어하여 자속 및 토오크분 전류의 크기와 상대적 위치를 간접적으로 제어하는 방법이다.

3. dSPACE를 이용한 시스템 구현 및 실험

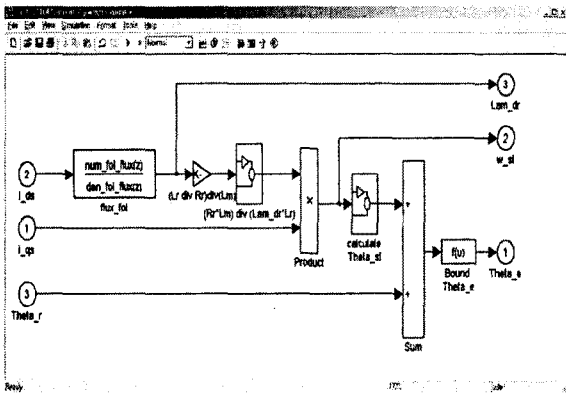
그림 2는 유도 전동기 벡터제어를 위한 전체적인 시스템 구성도를 나타낸다.



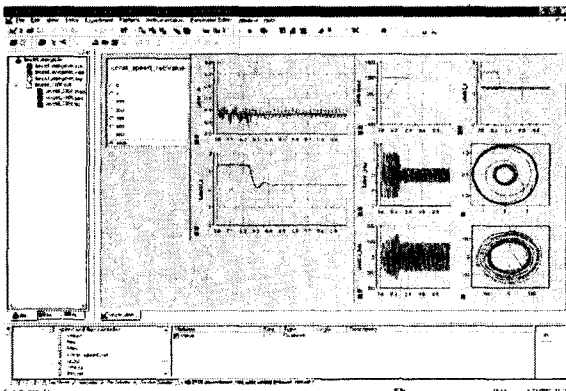
〈그림 2〉 시스템 구성도

시스템은 호스트 PC와 dSPACE DS1104 R&D Board, 그리고 IPM 인버터와 유도기로 구성하였고, 인버터의 2개의 전류센서로 제어에 필요한 전류 정보를 측정하고, 측정된 전류의 노이즈를 피하기 위하여 차단 주파수가 1kHz인 2개의 저역 통과 필터를 사용하였다.

유도 전동기 벡터제어를 위한 SIMULINK 블록은 한 개의 측정블록과 2개의 제어블록으로 구성하였다. 측정블록은 TMS320F240의 PWM 인터럽트에 의하여 16kHz의 주파수로 전류를 측정하고, 동시에 8kHz의 소프트웨어 인터럽트를 발생한다. 하위의 속도 제어기는 PowerPC603e의 타이머 인터럽트에 의하여 4kHz로 동작된다. 그림 3은 SIMULINK로 구성된 간접 벡터 제어 방식 블록 다이어그램이다. 그림 4는 SIMULINK에서 그래픽 모델로 프로그램 되고 DS1104 RTI 블록에 의해 실시간 실험을 수행하는데 있어 제어 및 모니터링을 할 수 있는 Control Desk 소프트웨어를 사용하여 속도 입력과 전류 및 속도 응답 등 각 제어신호들의 응답을 확인하였다.



〈그림 3〉 간접 벡터 제어 알고리즘 구현



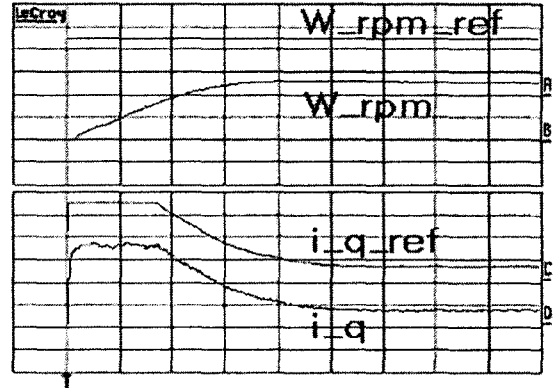
〈그림 4〉 Control Desk 소프트웨어

4. 실험 결과

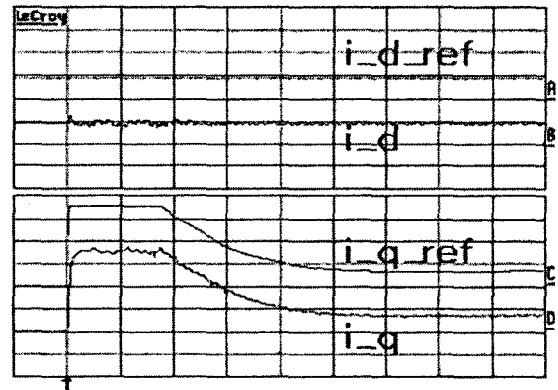
실험은 MATLAB/SIMULINK 소프트웨어와, dSPACE DS1104 제어보드, IPM 인버터, 4096 펄스 엔코더, 0.3kW 유도전동기를 사용하였다. SIMULINK 소프트웨어를 이용해 유도 전동기 벡터제어를 구성하고 DS1104 보드를 이용해 실시간 실험을 수행하였으며, Control Desk와 오실로스코프로 전류 및 속도 응답을 확인하였다.

그림 5는 무부하에서 1000rpm의 속도 지령을 입력 했을 때 속도 응답과 q축 전류의 응답곡선이다. 속도 및 전류의 지령과 응답을 비교하기 위하여 offset을 -800rpm과 -0.8A로 조정하였고, 속도 그래프는 400rpm/DIV를 나타내고, 전류 그래프는 0.4A/DIV를 나타내며 x축은 0.1s/DIV를 나타낸다. 속도응답의 정착시간은 약 0.4[sec]가 됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 d축 및 q축 전류 제어기 응답이다. 전류 응답 역시 지령과 응답을 확인하기 위하여 offset을 -0.8A/DIV로 조정하였고, d축 전류응답이 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 속도와 q축 전류 응답
y축 : 400rpm/DIV, 0.4A/DIV x축 : 0.1s/DIV



〈그림 6〉 d축 전류와 q축 전류응답
y축 : 0.4A/DIV x축 0.1s/DIV

5. 결 론

본 논문에서는 MATLAB/SIMULINK를 사용하여 유도전동기 벡터제어 시스템을 모델링하고, 이를 dSPACE DS1104 Controller Board를 이용하여 실시간으로 실험을 수행 하였다. 별도의 코드 없이 시뮬레이션과 실험을 동시에 수행할 수 있었고, 특히 빠른 제어기 설계와 정확한 실험 결과를 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 설승기, "전기기기제어론", pp. 129-371, 2002.
- [2] "Squirrel Cage Induction Motor Control with DS1104 R&D Controller Board", dSPACE Application Notes 2003.
- [3] 이학주, 권성철, 양승권, 오성업, 성세진, "MATLAB/SIMULINK 기반 유도전동기 벡터제어 시스템의 실시간 시뮬레이션", 전력전자학회 논문집, (1), pp.19-22, 2004.
- [4] 김배선, 설남오, 한우용, 김성중 "MATLAB 환경하에서 유도전동기 벡터 제어 구현", 전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1117-1119, 2000.
- [5] "Hardware Installation and Configuration", dSPACE User Guide, pp.71-100
- [6] "전력변환 및 전동기 제어 분야", HCEM, 2003
- [7] 지준근, 이동민 "dSPACE시스템에 의한 유도전동기 구동시스템의 벡터 제어", 한국과학기술학회 춘계학술발표논문집, 제7권 1호, pp.284-287 2006.