

MATLAB/SIMULINK의 Auto Code Generation을 이용한 전동기 제어

이슬기*, 정현우**, 오형록*, 이준영*
 명지대학교 전기공학과* (주)현대자동차**

Motor control by using MATLAB/SIMULINK Auto Code Generation

Seul Ki Lee*, Hyeon Woo Jeong**, Hyoung Lok Oh*, Jun young Lee*
 Department of Electrical Engineering, Myongji University*, Hyundai Co**

ABSTRACT

본 논문에서는 모터와 인버터 그리고 제어기를 모델로 작성하여 시뮬레이션하고, 제어기 모델로부터 자동코드생성을 하여 작성한 코드를 실제 제어기에 탑재하여 모터모델의 시뮬레이션 및 실제 모터를 구동하였다. 제어기와 모터 그리고 인버터 모델은 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 작성하였다. 모터 모델과 실제 모터의 동작을 통해 제어기의 성능을 검증하였다. PWM은 10[kHz]로 동작하며, 이를 검증하기 위해 400[W] 표면부착형 동기모터 다이내모 장치와 3상 모터 드라이버를 이용하여 시험을 수행 하였다.

1. 서 론

자동코드생성은 시뮬레이션을 통해 검증한 제어로직을 별도의 직접코딩 없이 C코드를 생성하는 것이다. 이 기법은 ISO26262등의 표준을 위해서도 사용되고 있으며, 다른 많은 분야에서 널리 사용되어지고 있다. 그리고 업계의 관심이 증가하고 있는 추세이며, 그 중요성도 높아지고 있다. 자동코드생성의 장점은 제어장치에 매우 효율적인 코드를 생성해낸다는 점과 직접코딩 과정에서 설계를 해석할 때 발생할 수 있는 오류를 미연에 방지할 수 있다는 점이다.

본 논문에서는 SILS(Software In the Loop Simulation)를 통해 제어기와 전동기 모델을 검증한 뒤, HILS(Hardware In the Loop Simulation)를 통해 자동 생성된 코드를 실제 MCU에 탑재하여 성능을 검증 한다. 그리고 RCP(Rapid Control Prototyping)를 통해 제어기 모델을 이용하여 실제 전동기를 제어하여 그 성능을 검증하고, 마지막으로 실제 MCU를 이용하여 실제 전동기를 제어하여 자동 생성된 코드를 검증한다.

2. 전동기 제어기 및 제어 환경 구성

2.1 전동기 제어기 및 전동기 모델 구성

본 논문에서는 MATLAB/SIMULINK 기반의 모델을 작성하였으며, 시뮬레이션과 시험에는 RT LAB을 사용하였다. 시험에 사용된 전동기는 영구자석 동기기로 SILS와 HILS에서 사용되는 전동기의 모델은 수식기반으로 작성하였다. 식(1)과 식(2)는 d q좌표계에서 동기전동기의 전압방정식이다. V_d^e , i_d^e 는 자석의 방향축의 전압이며, V_q^e , i_q^e 는 자석과 수직되는 방향축의 전압이다. R_s 는 고정자저항이며, L_s 는 고정자 인덕턴스

이다. 식(3)은 자석에 의한 토크식이다. 극수P와 쇄교 자속 Λ_m 그리고 q축전류를 이용해 구할 수 있다. 모터드라이버는 실시간 시스템을 표현하기 위해 RT LAB에서 제공하는 RT EVENT 및 RTE Drive를 사용하여 작성하였다. 제어기 모델은 그림 1과 같이 d q 변환을 이용한 벡터제어기로 구성하였으며, SVPWM을 이용하여 제어신호를 출력하도록 작성하였다.

$$V_d^e = R_s i_d^e + L_s \frac{di_d^e}{dt} - \omega_r L_s i_q^e \quad \text{식(1)}$$

$$V_q^e = R_s i_q^e + L_s \frac{di_q^e}{dt} + \omega_r L_s i_d^e + \omega_r \Lambda_m \quad \text{식(2)}$$

$$\tau_e = \frac{3}{2} P \Lambda_m i_q^e \quad \text{식(3)}$$

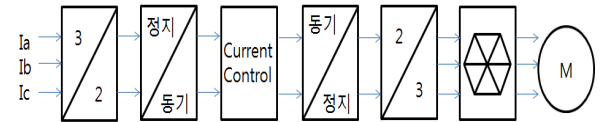


그림 1 전동기 제어 구성도
 Fig. 1 Motor Control Diagram

MATLAB/SIMULINK의 자동코드생성 기능은 생성되는 코드의 상태를 직접코드와 유사하게 만들어 줄 수 있다. 그렇게 하기 위해서는 모델을 작성할 때 그림 2와 같이 코드생성에 유리하게 모델구성을 해야 하며, 변수의 선언은 모델 내부에서 모두 해줄 수 있다.

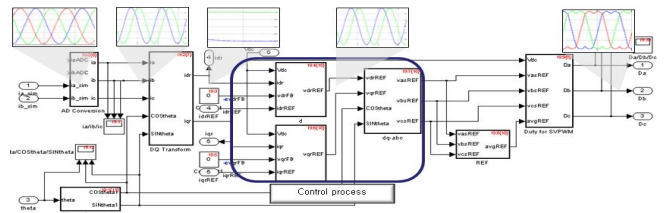


그림 2 전동기 제어 모델
 Fig. 2 Motor Control model

2.2 전동기 제어 환경 구성

자동 생성된 코드를 검증하기 위해서 본 논문에서는 SILS, HILS, RCP 그리고 Real plant 시험을 그림 4의 조건에서 순차적으로 진행하였다. 다음 그림 3에서 알 수 있듯이 SILS는 시스템이 모두 모델인 상태이며, HILS에서는 자동 생성 코드의

검증을 위해 실제 MCU에 자동 생성된 코드를 탑재 하여 전동기 모델을 제어한다. 그리고 제어기 모델로 전동기를 제어함으로써 제어기 모델을 검증하고, 마지막으로 자동 생성된 코드를 탑재한 MCU를 이용하여 실제 전동기를 제어하여 그 결과를 분석한다.

	SILS	HILS	RCP	Real Plant
Motor logic	Model	X	Model	X
Driver	Model	Model	Real	Real
M G set	Model	Model	Real	Real
MCU board	X	Real	X	Real

그림 3 시험 종류 및 구성
Fig. 3 Test type and configuration

제어주기	극수	저항	인덕턴스	자속
100us	8	2.60hm	9.5mH	0.0555

그림 4 전동기 파라미터
Fig. 4 Motor parameters

3. 시험 결과

전동기 시험은 1000RPM, 2A로 하였으며, SILS, HILS, RCP의 시험 결과는 RT LAB의 Analog Output Port를 이용하여 계측하였고, Real Plant의 시험결과는 MCU의 D/A 기능을 이용하여 계측하였다.

SILS, HILS 및 RCP의 경우 그림 5, 그림 6, 그림 7에 보면 RT LAB의 아날로그 출력을 사용하였으므로 theta의 pi부터 pi까지의 값이 3.14V부터 3.14V 까지 출력 되는 것을 확인할 수 있다. Real plant 시험의 경우 그림 8에서 보다시피 MCU의 D/A 기능을 사용하였으며 0V에서 5V까지의 값이 3.14V에서 3.14V가 되는 것을 확인할 수 있다. 상전류는 1A/DIV 이며, iq 및 iqref의 경우 1V/DIV 이다.

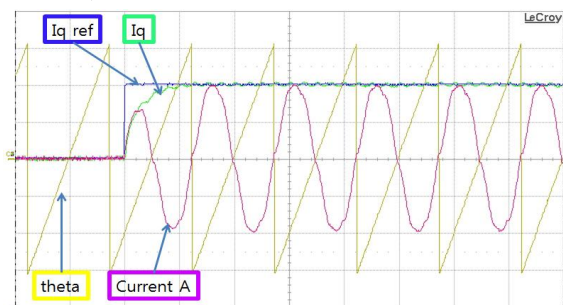


그림 5 Software In the Loop Simulation
Fig. 5 Software In the Loop Simulation

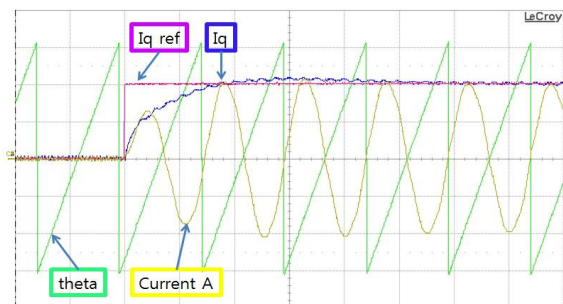


그림 6 Hardware In the Loop Simulation
Fig. 6 Hardware In the Loop Simulation

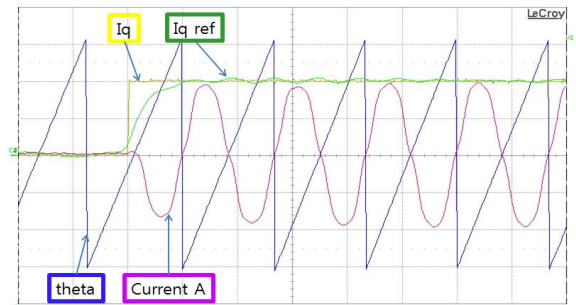


그림 7 Rapid Control Prototyping
Fig. 7 Rapid Control Prototyping

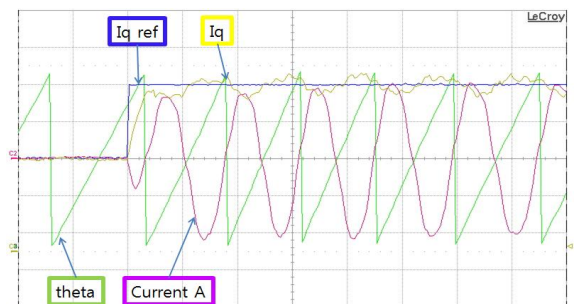


그림 8 Real plant
Fig. 8 Real plant

4. 결론

본 논문에서는 MATLAB/Simulink을 이용하여 모델을 작성하고, 직접코딩을 하지 않고 RT LAB을 이용하여 SILS, HILS, RCP를 수행하였다. 마지막으로 자동 생성된 코드를 이용하여 실제 제어기와 전동기를 제어 하였다. 실험을 통해 SILS, HILS, RCP 그리고 Real plant의 결과가 상당히 유사함을 알 수 있었으며, 실제 전동기 또는 모델, 그리고 실제 제어기 또는 모델을 비교 시험할 수 있도록 구성하여 모델을 실제 전동기 및 제어기로 최대한 유사하게 만들 수 있었다.

향후 전동기와 인버터 개발 및 제어기 설계 시 많은 시간을 단축 할 수 있을 것이며, 직접코딩이 아닌 자동 코딩을 통해 제어기의 오류 발생을 줄이며, 효율적이고, 손쉽게 제어 코드를 작성 할 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문은 2012년도 정부(지식경제부)의 재원으로 (주)현대자동차의 지원을 받아 수행된 연구임(No.10031700)

참고 문헌

- [1] 김상훈 “DC 및 AC 모터제어”.
- [2] 설승기 “전기기기 제어론”
- [3] 오형록, 정유석, 이인찬 “RT Lab을 이용한 Motor구동시스템의 HILS 구현 및 제어 특성 분석”전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집 2011.11, page(s): 12 13