

FPGA를 이용한 AC 전동기의 벡터 제어 모듈 설계

김석환, 임정규, 서은경, 신희범, 이현우*, 정세교
 경상대학교 전기전자공학부, 경남대학교 전기공학과*

Design of Vector Control Module for AC Motor Using FPGA

Seok-Hwan Kim, Jeong-Gyu Lim, Eun-Kyung Seo, Hwi-Beom Shin,
 Hyun-Woo Lee*, Se-Kyo Chung

Dept of Electrical & Electronic Engineering, Gyeongsang National University
 *Dept of Electrical Engineering, Kyungnam University

ABSTRACT

This paper describes a design of a vector control module for AC motor using high density FPGA. In the proposed vector controller, the vector control blocks including inverse dq transform, space vector PWM and quadrature encoder pulse module are implemented in a FPGA using a VHDL. The simulation results are provided to show the validity of the proposed vector control module.

1. 서론

최근 들어 각종 산업기기 및 자동화기에 전동기가 널리 사용되면서 정밀 제어를 위해 벡터 제어가 일반적으로 이용되고 있다.

벡터 제어 알고리즘은 일반적으로 고속 DSP 또는 마이크로프로세서를 통해 소프트웨어적으로 구현되며, 일반적인 소프트웨어 기반 벡터 제어 기법은 긴 연산 수행 시간을 요구하므로 고성능의 디지털 프로세서가 필요하다.^[1]

이러한 단점은 벡터 제어 알고리즘을 하드웨어로 구성함으로써 긴 연산 시간을 단축시킬 수 있다. 최근 반도체 직접기술의 발달로 디지털 신호처리 블록과 고성능 곱셈기 등을 내장한 FPGA 소자가 출시되고 있어 복잡한 연산이 요구되는 알고리즘을 하드웨어적으로 구현이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 고밀도 FPGA를 이용하여 AC 전동기의 벡터 제어 모듈을 하드웨어적으로 설계하였다. 제안된 벡터 제어 모듈은 Hardware Description Language(HDL)인 VHDL을 이용하여 작성하였으며, 벡터 제어 모듈을 구성하는 하드웨어 블록은 각각 독립적으로 모듈화 하였다. 그리고 제안된 벡터 제어 모듈은 시뮬레이션과 ALTERA사의 Stratix 1S10을 통해 검증

하였다.

2. 벡터제어 모듈

2.1 AC 전동기 벡터제어 모듈의 구성

본 논문에서 제안한 AC 전동기의 벡터 제어 모듈은 그림 1과 같으며, 벡터 제어를 구현하기 위한 좌표변환 모듈, Space Vector PWM 발생 모듈, 삼각함수 계산을 위한 Sine Lock-up table(LUT), 그리고 전동기의 엔코더 신호를 처리하기 위한 Quadrature Encoder Pulse (QEP) 모듈이 고밀도 FPGA에 구현된다.

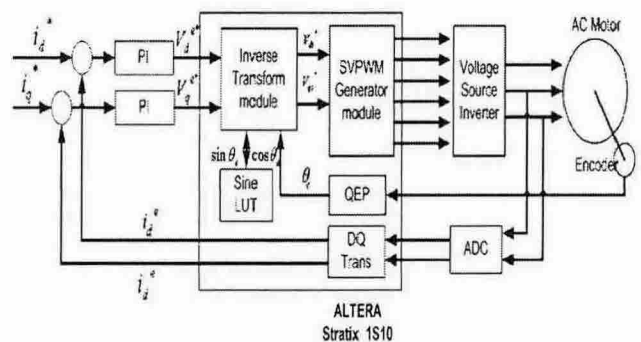


그림 1 AC 전동기 벡터 제어 모듈 구성

Fig. 1 Configuration of AC motor vector control module

2.2 Stratix 1S10 high density FPGA

본 논문에서 사용한 Stratix 1S10은 1.5V, 0.13 μ m SRAM processing 기반의 고밀도 FPGA로서, 대용량의 Logic elements(LEs), Digital Signal Processing(DSP) block, multiplier block을 내장하고 있어 고성능 filter 또는 multiplier를 구현할 수 있다.^[2]

3. 벡터제어 구현

3.1 Inverse DQ 변환^{[3][4]}

벡터 제어를 구현하기 위해 그림2의 블록도와 같이 Inverse DQ 변환 모듈을 설계하였다.

벡터 제어 동작은 매 샘플링 시간마다 QEP 모듈로부터 증감된 카운터 값을 입력받아 동기 회전각을 계산한다. 계산된 동기 회전각의 sine, cosine 값을 Sine LUT로부터 얻기 전에 sin/cos Generator Unit을 거치게 된다. 이는 sin과 cos의 반복성과 대칭성을 이용하여 메모리 공간을 최소화하게 LUT를 설계하였기 때문이다.

이렇게 얻어진 sin, cos 동기 회전각은 Sine LUT block을 통해 sin cos 값을 얻게 되고, 얻어진 값은 INV DQ calculator block을 거치게 되어 정지 좌표계의 dq값을 가지게 된다.

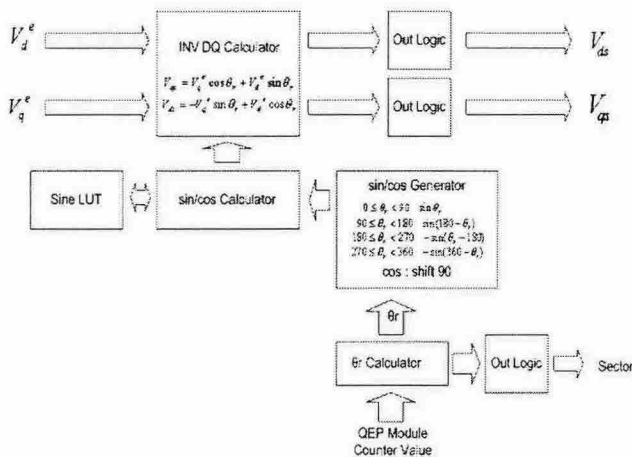


그림 2 Inverse dq 변환 모듈 블록도
Fig. 2 Inverse dq transform module block diagram

3.2 Space Vector PWM^{[1][5][6]}

SVPWM은 d, q 좌표 영역의 전압 공간 벡터를 한 주기 내에서 평균적으로 동일한 전압을 인버터의 유효벡터를 이용하여 합성해 내는 것이며, d, q 좌표 영역에 대한 인버터의 유효벡터는 그림3와 같다.

전압 공간 벡터를 한 주기 동안 합성해 내기 위해 인가하여야 할 인버터 유효 벡터 스위칭 시간을 계산하기 위하여 그림4의 블록도와 같이 SVPWM 모듈을 설계하였다.

SVPWM 모듈은 먼저 입력된 섹터 신호로부터 전압 벡터가 위치한 섹터를 검출한 후, 그림4과 같이 유효 벡터 스위칭 시간의 일반적인 계산식을 통해 각 섹터에 따라 적절한 유효 벡터 스위칭 인가 시간을 계산한다.

계산된 스위칭 인가 시간을 통해 게이팅 신호의

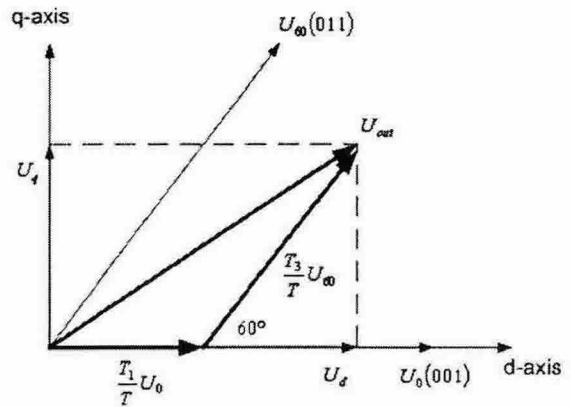


그림 3 전압 공간 벡터
Fig. 3 Space Vector of the Voltages

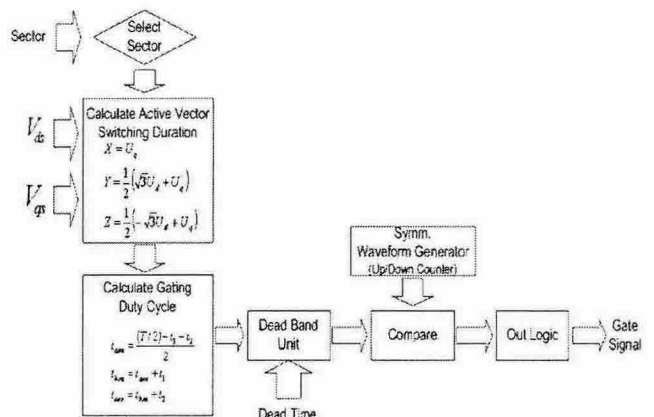


그림 4 Space Vector PWM 모듈 블록도
Fig. 4 Space Vector PWM module block diagram

Duty Cycle은 그림 3과 같이 일반적인 식을 통해 섹터에 따라 Duty Cycle을 결정한다. 결정된 각 게이트별 Duty Cycle은 Symmetric reference signal과 비교하기 전에 Dead Band Unit을 거치게 하는 전처리방식을 적용하였다. 본 논문에서 적용한 전처리방식은 Dead Band Unit 후처리에서 발생할 수 있는 신호 시프팅시 발생하는 신호지연 현상을 방지할 수 있다.

3.2 속도 및 위치 검출

본 논문에서 속도 및 위치 검출은 QEP 모듈에서 수행되며, 증분형 엔코더에 적합하도록 설계하였다. 속도 및 위치 검출 방법은 그림 5와 같이 엔코더 신호를 받아들여 QEP회로를 통해 회전수와 방향을 검출한다. 회전수와 방향은 엔코더의 A, B 상 신호를 4체배하여 카운터 신호를 생성하며, 엔코더 A와 B상 신호의 인가 시점을 통해 방향을 결정하고 카운터의 증감신호로 사용된다.

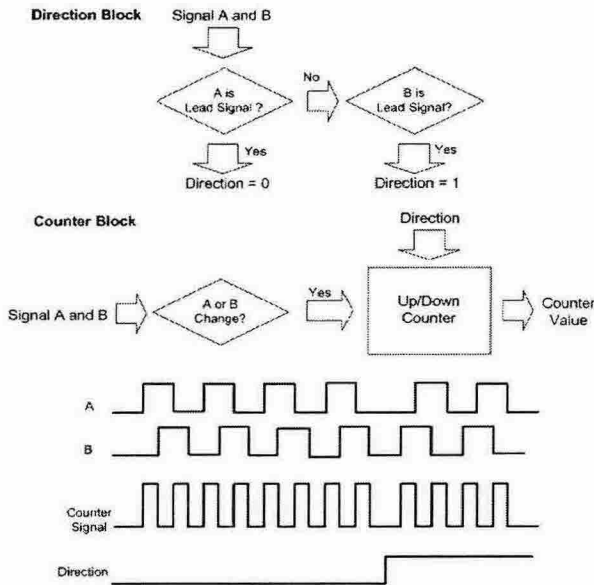


그림 5 QEP 모듈 블록도
Fig. 5 QEP module block diagram

4. 시뮬레이션

시뮬레이션 구성은 그림6과 같이 각각의 모듈을 블록으로 구성하였다. 입력되는 동기좌표계 전압은 임의의 값으로 설정하였으며, 그 외 입력 신호는 동작원리와 유사하도록 입력하였다.

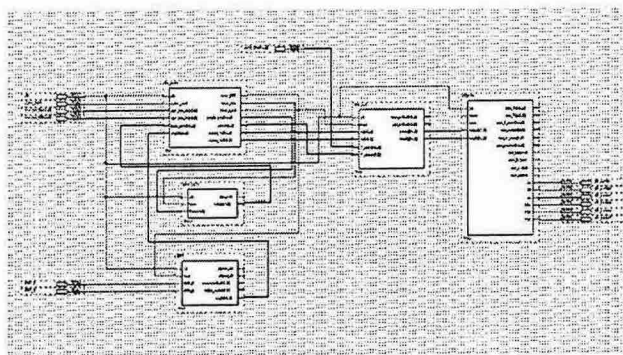


그림 6 시뮬레이션 회로 구성
Fig. 6 Configuration of Simulation Circuit

시뮬레이션 결과 그림7과 같이 임의 동기 좌표계 전압을 검출한 동기 회전각을 이용하여 정지 좌표계 전압으로 변환과 SVPWM 모듈로부터 동일한 전압을 합성하는 것을 검증하였다

3. 결론

본 논문에서는 ALTERA Stratix 1S10을 사용하여 전동기 제어기에 널리 사용되는 벡터 제어의 하

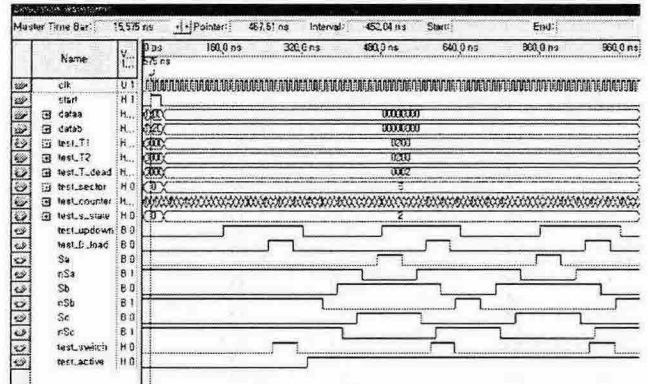
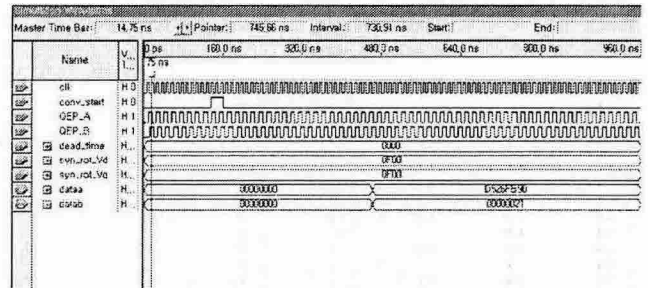


그림 7 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation Results

드웨어화를 다루었다. 제안된 AC 전동기 벡터 제어 모듈은 하드웨어적으로 구성되어 소프트웨어 기반의 벡터제어의 단점인 긴 연산 시간을 단축시킬 수 있다. 본 논문에서는 제안된 벡터 제어 모듈에 대한 동작과 제어 기법을 설명하였으며, 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

추후과제로는 제안된 벡터 제어 모듈을 AC 전동기에의 적용이 필요하며, 수치계산에 있어 정확도를 높이기 위한 알고리즘 구현이 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 설승기, "전기기기 제어론", 브레인 코리아, 2002.
- [2] Altera, "Stratix device handbook", September 2004.
- [3] P. C. Krause, "Analysis of Electric Machinery", McGraw-Hill, 1987
- [4] B. K. Bose, "Modern Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall, 2002
- [5] H. W. van der Broeck, H. C. Skudelny, and G. V. Stanke, " Analysis and Realization of a Pulsewidth Modulator Based on Voltage Space Vectors", IEEE Trans. on Ind. Applicat., vol.24, no.1, Jun./Feb., 1988.
- [6] Texas Instruments, "Digital Motor Control", Oct. 2003