

FPGA를 활용한 SVPWM방식의 정현파 BLDC 모터 구동 로직 설계 및 구현

전병찬* · 박원기* · 이성철* · 이현영*

*전자부품연구원

Design and implementation of BLDC motor drive logic
using SVPWM method with FPGA

Byeong-chan Jeon* · Won-Ki Park* · Sung-chul Lee* · Hyun-young Lee*

*KETI (Korea Electronics Technology Institute)

E-mail : chane01@keti.ac.kr

요 약

본 논문에서는 FPGA를 활용하여 SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation)방식의 정현파 BLDC 모터 구동 로직을 설계 및 구현하였다. Hall sensor를 이용한 BLDC 모터 구동 회로는 정현파 PWM 생성회로, 데드타임 회로 및 리드 앵글 생성 회로 등으로 구성 된다. 특히 PWM 생성 회로는 SVPWM방식을 이용하여 기존 정현파 PWM 대비 선형구간이 15.5% 증가된다. 설계한 회로는 VHDL을 이용하여 모의실험 하였으며 Xilinx Spartan-6 FPGA보드를 통하여 회로의 동작 및 성능을 검증하였다. 검증 결과 모터구동 전류의 THD (Total Harmonic Distortion)은 19.32% 로 기존 정현파 구동 회로 대비 우수한 특성을 보였으며 회전자 분해능은 1.6° 로 정밀 제어가 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper shows the Design and implementation of sinusoidal BLDC motor drive logic using SVPWM method with FPGA. Sinusoidal BLDC motor driver logic consists of sine-wave PWM generator , dead-time and lead angle control logic. PWM generator logic is designed using SVPWM method for increase of 15.5% linear domain than general sine-wave PWM . This logic is verified and implemented using Spartan-6 FPGA Board . Test results show that THD(Total Harmonic Distortion) of motor-driving current is 19.2% and rotor position resolution is 1.6 degree.

키워드

BLDC motor, SVPWM, FPGA, Hall sensor

1. 서 론

기존의 직류 모터구동시스템보다 고내구성, 저소음, 긴수명, 고효율 특성을 구비한 BLDC모터는 산업 전반에서 수요가 급증하고 있다. BLDC모터는 홀센서 혹은 엔코더, 레조버 등 위치센서를 사용하여 모터의 위치정보 신호를 검출하는 센서드 BLDC 모터와 모터 위치검출 기술의 위치센서와 같은 역할을 하는 모터의 BEMF(Back

Electromotive Force) 신호로 모터의 위치정보 신호를 검출하는 센서리스 BLDC 모터로 나뉜다.[1] 그중에서도 센서드 BLDC 모터는 고정밀 위치검출이 필요한 산업 전반에 다양하게 사용된다. 본 논문에서는 센서드 BLDC 모터의 정현파 구동 로직을 FPGA를 통하여 설계 및 구현한다.

II. 구동 로직의 설계

모터 구동 로직 설계를 위해서는 모터 동작 속도 범위, 모터 극과 상의 수, PWM클럭 주파수, 모터 추정 각 해상도, 시스템 클럭 등의 특성들을 반영한 회전자 위치 파악 로직, 속도 추정 제어 로직, 정현파 PWM 생성 로직 등이 필요하다. [2] 설계한 주요 로직들을 아래에 나타내었다.

2.1 정현파 PWM 생성 로직

일반적으로 PWM 생성 로직은 삼각파와 지령 전압을 비교하여 PWM 출력을 만들어내며, 지령 전압이 정현파일 경우 정현파 출력이 나타나게 된다. 이때 일반적인 정현파와 지령 전압에 비하여 SVPWM방식의 지령 전압을 사용할 경우 선형영역이 15.5%증가하여 보다 높은 전압을 발생시킬 수 있다. 그림 1에서 일반적인 정현파 방식(좌측)과 SVPWM방식(우측)을 비교하여 나타내었다. 본문에서는 SVPWM 방식을 적용한 값을 ROM Table에 입력하여 사용하였다.

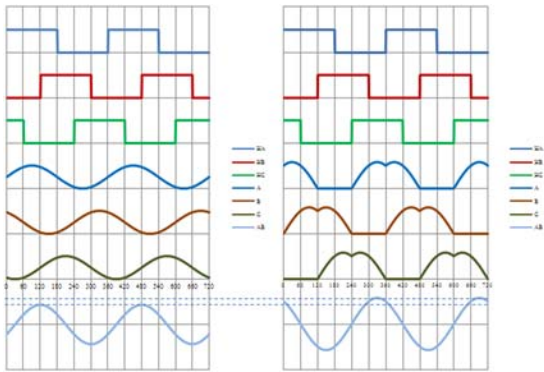


그림 1. 정현파 PWM기법 비교

2.2 데드타임 로직

인버터 스위칭 중 실제 게이팅 신호 전달에서의 시간 지연의 차이와 반도체 스위치의 ON-OFF시간의 차이로 인하여 두 스위치가 동시에 도통이 되어 단락 사고를 일으킬 위험이 있다. 그러므로 각 상에서 한 상의 스위치가 turn-off가 보장되는 일정시간 경과 후에 그 상의 다른 스위치를 turn-on 하도록 제어해야 한다. 이를 데드타임이라하며 본 논문에서는 크리스탈의 clock 주파수를 이용하여 2.6usec의 데드타임 로직을 구현하였다.

2.3 Lead Angle 로직

모터를 일정한 토크로 구동하기 위한 가장 이상적인 방법은 전류와 역기전력의 상이 동일하도록 맞춰주는 것이다. 전류의 기울기는 저항과 인덕터의 시상수에 의하여 시간 축에 고정되어있는 반면에 역기전력의 기울기는 위상 축에서 60°로 고정되어있어 주파수가 빨라질수록 시간 축에서는 지연이 감소된다. 이로 인하여 역기전력과 전

류의 상이 틀어지게 되는데 이를 보완하는 것이 Lead Angle이다. Lead Angle은 외부 전압입력을 통하여 0° ~ 58°의 Lead Angle을 제어할 수 있도록 설계하였다.

III. 개발 및 검증

3.1 개발 구현 결과

VHDL을 이용하여 회로를 설계 및 구현하여 Xilinx Spartan-6 FPGA로 동작을 검증하였다. 그림 2에 개발된 FPGA보드(좌측)와 모터구동을 위한 MOSFET 보드(우측)을 나타내었다.



그림 2. 개발 보드

3.2 검증

1)PWM생성로직 검증

VHDL로 설계된 디지털 블록은 프로그램을 통해 시뮬레이션이 가능하다. 그림 3에 PWM 생성 로직의 시뮬레이션 결과를 나타내었으며 SVPWM이 적용된 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 실제 구현된 보드에서 테스트를 위한 테스트 환경 구성도이다. 출력파형 측정을 위하여 RC필터를 사용하였다. 그림 5는 실제 구현한 보드에서 출력전류와 출력전압을 측정한 그림을 나타내었다. 12V 정격입력에서 측정하였으며 출력전압의 형태가 SVPWM형태인 것을 확인할 수 있다.

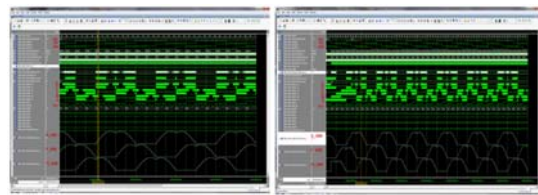


그림 3. 모의 시뮬레이션 결과

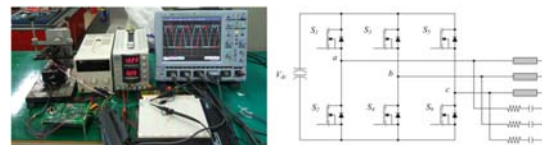


그림 4. 테스트 환경

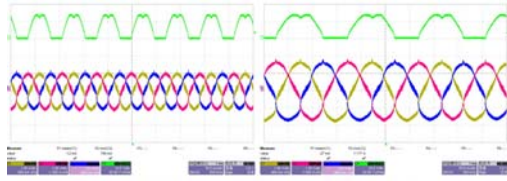


그림 5. 출력 전류 및 출력 전압

2)데드타임 검증

모터 구동상태에서 U상의 위쪽 스위치와 아래쪽 스위치를 측정하여 데드타임 로직의 동작을 검증하였다. 그림 6에 데드타임 로직 스위칭 파형을 나타내었다. 2.598usec가 측정되어 정상 동작함을 확인하였다.

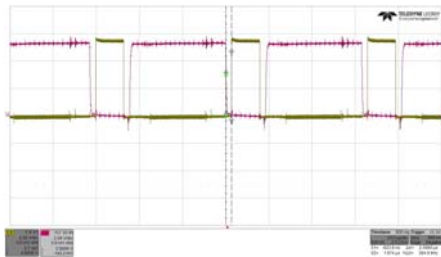


그림 6. 데드타임 로직의 스위칭 파형

3)회전자 분해능 검증

모터 구동 시 출력 상전압에서 상전압의 duty 값을 분석하여 회전자 분해능을 그림 7과 같이 측정하였다. 90도 구간에서 56개의 값으로 측정되었으며, 이를 통해 분해능은 1.6° 로 측정되었다.

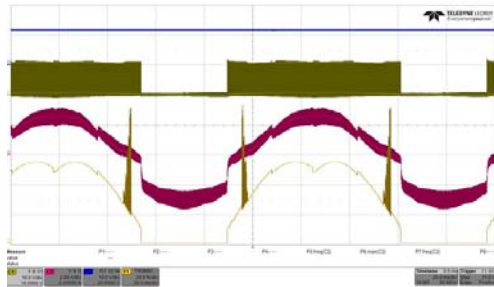


그림 7. 회전자 분해능 측정 시험

4)동작 검증

그림 8에서 동작 검증을 위해 목표 정격전압 12V에서 모터의 상전류를 확인하였다. 그림 7의 (a)에 실험환경을 나타내었고 (b)에 목표 정격전압인 12V에서 상전류가 올바르게 출력됨을 나타내었다. (c)와 (d)에서는 정격전압인 12V 뿐만 아니라 10V와 16V에서도 정상적으로 동작함을 나타내었다. 또한 출력전류의 형태를 그림 9와 같이 분석하여 THD 19.32%의 정현파 형태임을 확인하였다.

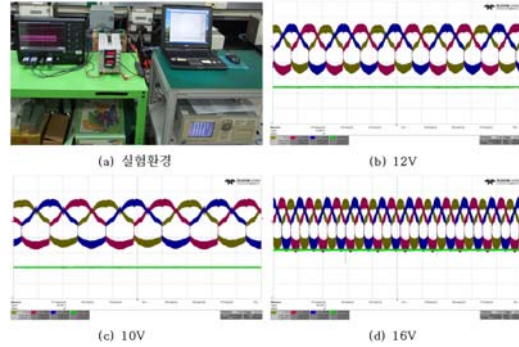


그림 8. 모터 상전류 검증

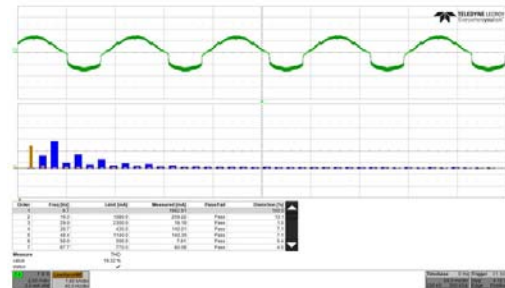


그림 9. 출력전류 THD 측정

IV. 결 론

FPGA를 활용하여 SVPWM 방식의 정현파 센서드 BLDC 모터 구동 로직을 설계 및 구현하고 결과를 검증하였다. PWM 생성 회로는 SVPWM방식을 이용하여 기존 정현파 PWM 대비 선형구간이 15.5% 증가되었고 12V 정격전압에서 원활하게 구동됨을 확인하였다. 또한 회전자 분해능은 1.6, THD는 19.32%의 정현파로 나타났다.

참고문헌

[1] 양일석, BLDC 모터구동시스템 기술동향, ITU를 선도하는 스마트 부품소재기술 특집, 29권 6호, 22-30, 2014. 12. 01.
 [2] 정현파 BLDC 모터용 모터구동회로 연산 블록 설계 지침, 2013. 12. 18.