

BLDC Motor Control with Hall Sensors Based on FRDM-KE02Z

FRDM-KE02Z 기반 홀 센서를 이용한 BLDC 모터 제어

1. Introduction

DC 모터의 속도 제어 회로는 간단하고 사용하기 쉽기 때문에 모터 속도 제어 시스템에서 매우 일반적입니다. 그러나 브러시로 인해 DC 모터는 신뢰성이 떨어집니다. 브러리스 DC (BLDC) 모터는 전자식으로 바꾼 모터라고도 합니다. 회전자에 브러시가 없으며 정류가 특정 회전자 위치에서 전자식으로 수행됩니다.

DC 모터를 BLDC 모터로 교체하면 제어 알고리즘과 제어 회로에 대한 요구가 높아집니다.

- 첫째, BLDC 모터는 대개 3-위상 시스템입니다. 따라서 3-위상 전원으로 전원을 공급 받아야합니다.
- 둘째, 로터 위치는 인가 된 전압을 정렬하기 위해 특정 각도에서 알려져야합니다.

BLDC 모터를 제어하는 가장 일반적인 방법은 홀 센서를 사용하여 회전자 위치를 결정하는 것입니다. 제어 시스템이 로터 위치를 감지하고 적절한 전압 패턴이 모터에 적용됩니다. 이 애플리케이션 노트에서는 **기본 DC 및 BLDC 모터 이론과 KE02 하위 제품군 MCU에서 6 단계 정류 방식을 구현하는 방법에 대해 설명**합니다. KE02는 향상된 FlexTimer (FTM)를 갖춘 5V MCU로 BLDC 모터 제어에 적합합니다.

Contents

1 Introduction.....	1
소개	
2 Basic theory of motor control.....	2
모터 제어의 기본 이론	
3 Basic theory of six-step commutation method.....	6
6 단계 정류 방법의 기본 이론	
4 How to control BLDC motor with FRDM-KE02Z	10
FRDM-KE02Z 로 BLDC 모터를 제어하는 방법	
5 Conclusion.....	14
결론	
6 References.....	14
참고	
7 Revision history.....	15
개정 내역	

1.1 FRDM-KE02Z board and transfer board / FRDM-KE02Z 보드 및 전송 보드

Kinetis E Series Freedom Development (FRDM-KE02Z) 보드는 제어 시스템의 기초를 형성하며 다음과 같은 기능을합니다.

- BLDC 보드에 PWM 제어 신호 공급
- 홀 센서 신호 및 버스 전압 및 전류 값 처리

전송 보드는 FRDM-KE02Z 보드와 BLDC 보드를 연결하는 데 사용됩니다.

1.2 BLDC drive board / BLDC 드라이브 보드

BLDC 보드는 APMOTOR56F8000 : 9V DC로 구동되는 모터 제어 데모 시스템입니다. 이 보드에서는 6 단계 홀 센서 알고리즘과 센서리스 알고리즘을 구현할 수 있습니다. 이 애플리케이션 노트에서는 홀 센서가 구성되어 사용됩니다.

상세 정보는 다음에서 찾을 수 있습니다 : APMOTOR56F8000 : 모터 제어 데모 시스템

1.3 Software requirement / 소프트웨어 요구사항

이 소프트웨어는 CodeWarrior v10.3 (CW10.3) 이상의 버전을 기반으로합니다.

CodeWarrior의 최신 버전은 CW10.4이며 다음에서 찾을 수 있습니다. freescale.com/CodeWarrior

2. Basic theory of motor control

이 그림은 거의 모든 종류의 모터 회전의 기본 원리를 보여줍니다. 모터의 회전자 및 고정자는 상호 작용하는 힘을 생성하고 회전자는 힘이 같은 방향에있는 한 회전합니다.

Figure 1. Motor control fundamentals 모터 제어 기본사항

2.1 DC motor control DC 모터 제어

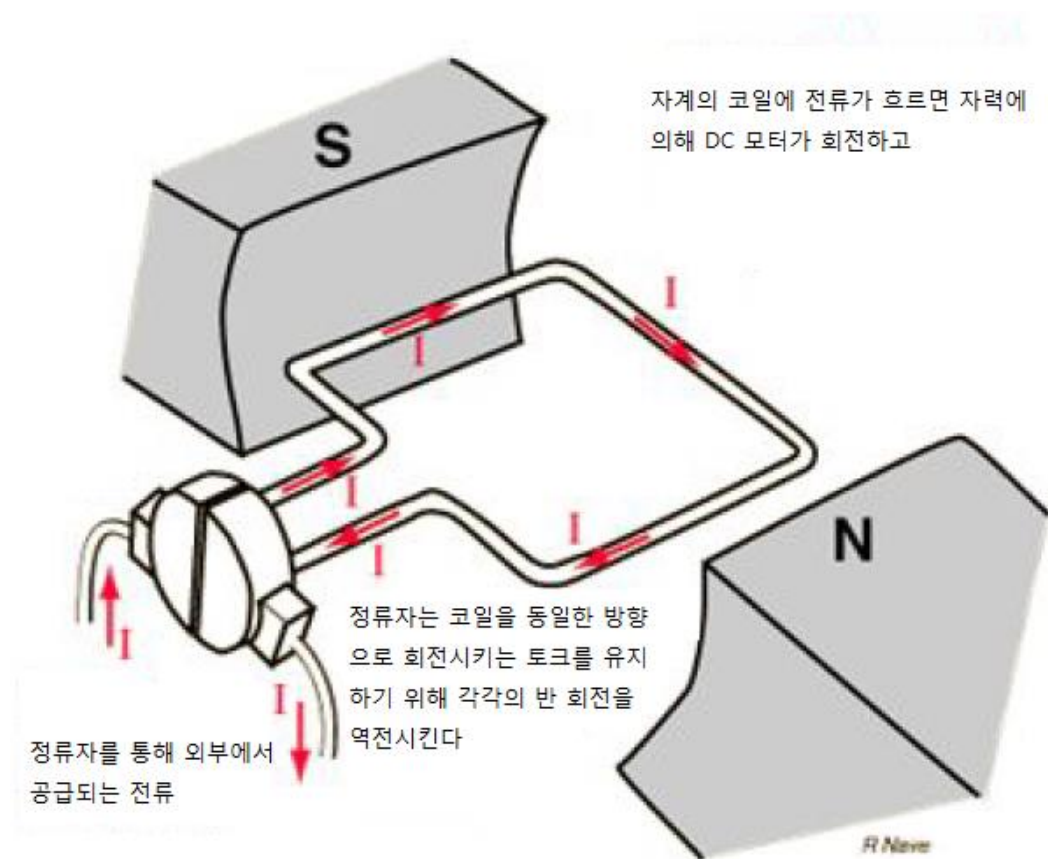
그림 1 에서 볼 수 있듯이, 로터는 로터 회전 방향으로 힘이 있기 때문에 시계 방향으로 회전합니다. 그러나 180 ° 회전 한 후 힘의 방향이 바뀌어 로터가 회전하지 못하도록 하고 뒤로 끌려옵니다. 마침내 로터는 같은 방향으로 회전하지 않고 단지 흔들립니다.

같은 방향으로 힘을 유지하는 효과적인 방법 중 하나는 힘 방향이 바뀌는 동시에 코일의 현재 방향을 변경하는 것입니다. 이 그림을 참조하십시오. 이 과정을 정류라고합니다.

Figure 2. Motor commutation 모터 정류

DC 모터에는 브러시 정류자가 사용됩니다. 다음 그림을 참조하십시오.

Figure 3. Brushed DC motor



when electric current passes through a coil in a magnetic field, the magnetic force produces a torque which turns the DC motor

자계의 코일에 전류가 흐르면 자력에 의해 DC 모터가 회전하고

the commutator reverses the current each half revolution to keep the torque turning the coil in the same direction

정류자는 코일을 동일한 방향으로 회전시키는 토크를 유지하기 위해 각각의 반 회전을 역전시킨다

Electric current supplied externally through a commutator
정류자를 통해 외부에서 공급되는 전류

로터가 특정 위치로 회전하면 브러시에 의해 코일의 전류 방향이 변경되므로 로터가 같은 방향으로 영원히 회전합니다.

그러나 브러시로의 입력 전류 방향이 바뀌면 로터의 회전 방향도 바뀔 것입니다.

브러시 정류자는 다음과 같은 장점이 있습니다.

- 제어 용이성
- 자기 정류
- 로우 로터 관성, 코어리스 로터
- 기본 동작을 위한 최저 전체 시스템 비용
- 시동 토크가 높고 AC 또는 DC로 작동 할 수 있습니다

그러나 다음과 같이 몇 가지 단점이 있습니다.

- 브러시 마모로 인한 높은 유지 보수 비용
- 기계적 정류로 인한 전기적 소음
- 정류기에 의한 최대 속도 제한
- 전기자가 회전자에 있기 때문에 제거하기 어려운 열을 전기자에서 생성합니다.
- 기계적 정류와 관련된 마찰 손실
- "본질적으로 안전한"환경에서는 사용할 수 없습니다.

2.2 BLDC motor control BLDC 모터 제어

BLDC 모터는 DC 모터의 단점을 극복 할 수 있습니다. BLDC 모터의 기본 구조는 기계식 정류자 (브러시)가 없으므로 DC 모터에 비해 다릅니다. BLDC 모터에서 코일은 고정자 상에 권선되고 회전자는 표면 장착 영구 자석을 가지며, 브러시 정류자는 전자 정류자로 대체됩니다.

그림 4 는 3-위상 BLDC 모터의 구조를 보여줍니다. 외부 회전자 (일부 모터는 내부에 있음)는 4 개의 극 쌍이 있으며 영구 자석으로 구성됩니다. 고정자는 3-위상 권선 (A, B 및 C)으로 구성됩니다. 그림 5 는 이전 고정자 권선의 추상 개략도입니다. 이 회로도를 사용하여 고정자의 자기장을 분석하는 것은 쉽고 직관적입니다. MCU 와 제어 회로는 정류자입니다.

Figure 4. BLDC motor structure / BLDC 모터 구조

Figure 5. Stator winding connection of a three-phase BLDC motor / 3-위상 BLDC 모터의 고정자 권선 연결

고정자 권선은 동력이 공급 될 때 자기장을 생성 할 수 있으며, 영구 자석 (회전자)을 끌거나 밀어내어 로터가 회전합니다.

다음 그림을 참조하십시오.

Figure 6. Internal magnetic force 내부 자력

다음 그림은 고정자에서 자기장을 생성하는 방법을 보여줍니다. 여기서, 양의 전류는 특정 위상으로 흘러가거나 특정 위상에서 나오는 전류로 정의됩니다.

Figure 7. Magnetic field generation 자기장 생성

DC 모터와 마찬가지로, BLDC 모터의 MCU 및 제어 회로가 고정자 권선에 의해 생성된 자기장의 방향을 시간에 변화시키지 않으면 로터가 회전하지 않습니다. BLDC 모터에서, 회전 자기장은 권선에 의해 발생되어야 합니다. 그러므로 정류소의 위치를 일치시키고 방향을 바꾸는 방법이 있어야합니다.

이 목적을 위해 홀 센서 방법은 이 응용 노트에서 논의됩니다.

3 Basic theory of six-step commutation method 6 단계 정류 방법의 기본 이론

회전자가 시계 방향 또는 반시계 방향으로 안정적으로 회전하기를 원하면 고정자 권선에서 관련 회전 자기장을 생성해야 영구자석 (회전자)을 끌거나 밀어냅니다.

3.1 Rotating magnetic field 회전 자기장

그림 7 에서 보여주는 바와 같이, 고정자 코일의 각 위상은 두 방향으로 자기장을 생성 할 수 있으므로, 3-위상 코일의 전류 및 회전 자기장은 쉽게 제어 될 수 있습니다. 생성된 6 가지 패턴의 자기장 (다음 그림 참조)은 6 단계 정류의 기본 요소이며 다음 절에서 설명합니다.

Figure 8. Rotating magnetic field 회전 자기장

3.2 Six-step commutation 6 단계 정류

홀 효과 센서는 감지 된 자기장에 따라 로직 레벨을 출력하는 감지 스위치입니다. 홀 효과 센서 (Ha, Hb 및 Hc)가 고정자에 삽입됩니다.

예를 들어, Ha 센서가 영구 자석의 N 극 아래에 있으면 신호 1 을 출력하고, 그렇지 않으면 0 을 출력합니다. 다음 그림을 참조하세요.

모든 세 센서의 출력을 결합하면 이론적으로 000 에서 111 까지 8 개의 상태가 됩니다. 그러나 대부분의 경우 하드웨어 제약 때문에 신호 000 과 111 이 존재하지 않습니다. 따라서 다른 6 개의 상태는 한 위치의 360° 전기를 6 개의 영역으로 나눌 수 있으며 상태가 서로 다른 정확한 점은 정류자가 고정자의 자기장 방향을 변경하는 위치입니다.

Figure 9. Hall sensor output 홀 센서 출력

그림 10 은 홀 센서 상태가 010 인 것으로 표시된 정류의 예를 보여줍니다. 이제, 회전자가 시계 방향으로 회전하려면 시계 방향 회전 자기장이 가장 가까운 영역에서 생성되어야 합니다. 즉 홀 센서 상태가 011 인 경우 이 방향의 자기장은 코일 AC 를 켜서 생성 할 수 있습니다. 즉, A 로 전류가 흐르고 C 가 떨어집니다. 회전자가 011 영역으로 이동하면 홀 센서 상태가 011 로 변경되고 같은 시간에 정류자가 AC 에서 BC 로 변경되어 회전하는 자석 다음에 회전자가 계속 작동합니다.

Figure 10. Commutation 정류

3.3 Commutation table 정류 테이블

6 단계 정류에 설명 된대로 6 개의 정류 위치는 360° 전기로 고정됩니다. 따라서 센서 상태와 고정자 권선 여기(자극되다 excitation)상태 사이의 관계를 설명하기 위해 특수 테이블을 구축 할 수 있습니다. 이 테이블을 정류 테이블이라고 합니다. 이 정류 테이블을 사용하면 MCU 가 쉽게 정류를 제어 할 수 있습니다.

Table 1. Commutation table 정류 테이블

다음은 정류 테이블에 사용 된 용어입니다.

- 홀 센서 헤더 열은 모터에서 캡처 한 홀 센서 상태를 제공합니다.
- 위상 헤더 열은 고정자 권선이 여기되는 방법을 결정합니다.
- '+'는 해당 단자로 흐르는 전류를 의미합니다.
- '-'는 해당 단자에서 전류가 흘러 나가는 것을 의미합니다.
- 'NC'는 단자에 전압이 가해지지 않았음을 의미합니다.

이 표를 그림 10 에 적용하면 시계 방향 및 반 시계 방향으로 모터 스핀을 쉽게 제어 할 수 있습니다.

- 홀 센서 상태가 100 으로 변경되면 표 1 을 확인한 후 위상 CB 가 켜지도록 합니다. 회전은 시계 방향입니다.

- 이를 반대로 홀 센서 상태가 011 인 경우 표 1 을 확인한 후 위상 BC 를 켜십시오. 회전은 반 시계 방향입니다.

4 FRDM-KE02Z 로 BLDC 모터를 제어하는 방법

구동 모터는 고전압과 대전류가 필요하기 때문에 KE02Z MCU 로 직접 BLDC 모터를 제어하는 것은 거의 불가능합니다.

실제로 MCU 는 제어 신호를 제공하고 홀 센서 정보를 감지합니다. 따라서 모터 드라이브 보드 APMOTOR56F800e 가 사용됩니다.

4.1 Basic motor control topology 기본 모터 제어 토폴로지

다음 그림은 모터 위상에 적용되는 전압을 제어하기 위해 3-위상 인버터가 사용되는 기본 3-위상 모터 제어 토폴로지를 보여줍니다.

PWM 제어 신호는 MCU 에서 나오며 이 모터 구동 보드에서 전압 레벨 '1'은 트랜지스터를 켜고 '0'은 트랜지스터를 끕니다.

이 그림에서 알 수 있듯이 PWM0A 와 PWM0B 는 결합되어 상보적이고 PWM1B 는 켜지고 다른 것은 꺼져있어 위상 AB 가 여기됩니다.

(제어 신호를 가지고 모터를 구동시키는 매커니즘)

Figure 11. Motor control topology 모터 제어 토폴로지

이 토폴로지에서 6 단계 정류를 쉽게 구현할 수 있습니다. BLDC 를 구동 할 때 360 도 전기각도 동안 홀 센서 값과 함께 PWM 신호의 파형이 다음 그림에 표시됩니다. 게다가, PWM 의 듀티 사이클은 로터의 속도를 변화시킵니다. 이 그림에서 홀 센서의 상태는 011-> 001-> 101-> 100-> 110-> 010 이며 고정자 권선의 여기(excitation)는 CB-> AB-> AC-> BC-> BA-> CA.

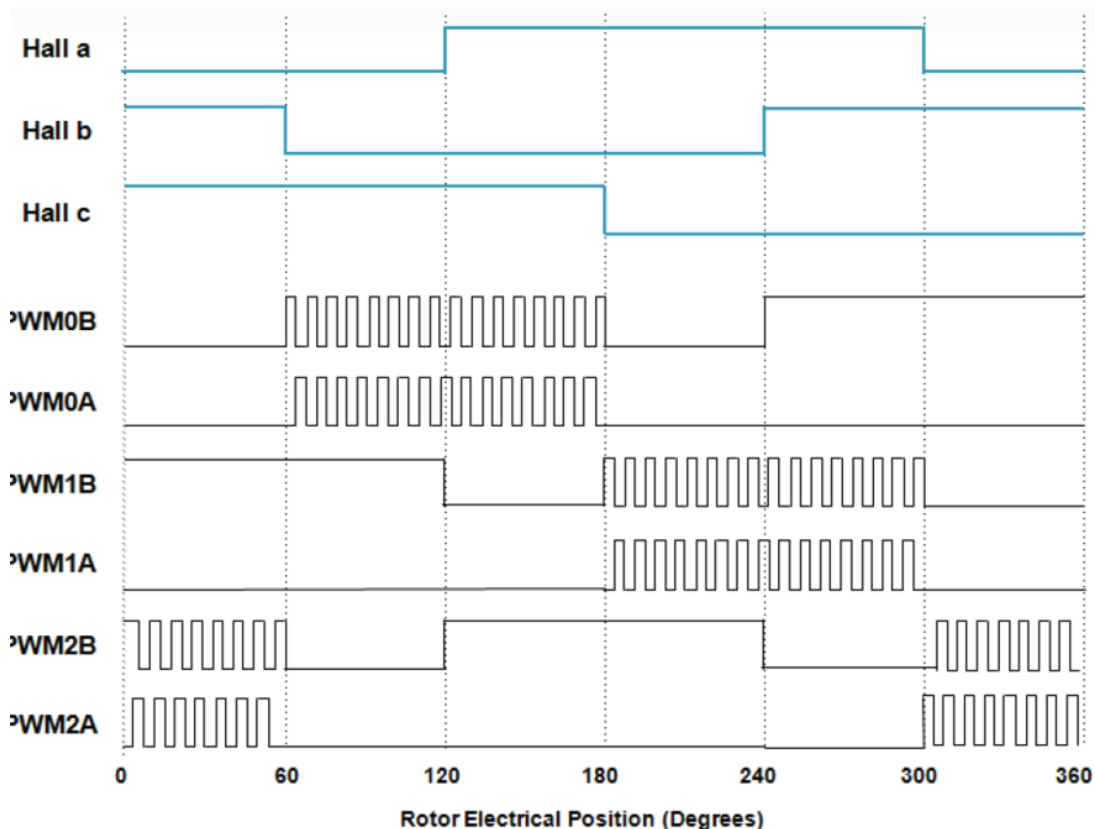


Figure 12. Six-step control and PWM wave 6 단계 제어 및 PWM 웨이브

4.2 PWM control on KE02 / KE02에서의 PWM 제어

PWM 제어 신호는 KE02의 FlexTimer 모듈에 의해 생성됩니다.

FlexTimer 모듈 (FTM)은 입력 캡처, 출력 비교 및 전기 모터 및 전원 관리 응용 프로그램을 제어하는 PWM 신호 생성을 지원하는 16 비트 타이머입니다. 또한 하드웨어 데드 타임 삽입, 극성, 오류 제어, 출력 강제 및 마스킹과 같은 기능을 통해 실행 소프트웨어의 로드가 크게 줄어들며 이들 각각은 일반적으로 레지스터 그룹에 의해 제어됩니다.

이 응용 노트는 KE02 MCU에서 FTM 모듈의 다음과 같은 기능을 사용합니다.

- 입력 캡처 기능은 홀 센서 신호를 얻는 데 사용됩니다.
- 데드 타임 삽입 기능이 있는 PWM은 회전자의 속도를 제어하는 데 사용됩니다.
- 소프트웨어 출력 제어 및 출력 마스크 기능은 정류에 사용됩니다.

예를 들어, 시스템이 70%의 듀티 사이클을 갖는 PWM을 필요로 하고, 전류가 B 상으로 흐르고 C 상으로부터 나오게 됩니다.

(다음 그림 참조). FTM 모듈은 다음과 같이 구성 할 수 있습니다.

- PWM2 및 PWM3 출력은 데드 타임 삽입을 보완합니다.
- 마스크 PWM0 and PWM1
- 소프트웨어 제어 PWM4 및 PWM5

Figure 13. Commutation control using MASK and SWC feature / MASK 및 SWC 기능을 사용한 정류 제어

4.3 Closed loop control 폐쇄 루프 제어

PWM 제어 및 6 단계 방식의 정류는 BLDC 모터에서 로터 스피ンを 구동 할 수 있습니다. 그러나 PWM 듀티 사이클을 결정하고, 원하는 속도를 얻고, 속도를 부드럽게 조절하고, 과전압 또는 과전류로부터 시스템을 보호하는 것과 같은 문제가 여전히 해결되어야 합니다.

문제를 해결하기 위해 시스템은 소프트웨어에 가까운 루프를 구축해야 합니다. 다음 그림을 참조하십시오. 코어는 속도 PI 컨트롤러이고, 입력은 필요한 속도와 실제 속도이며, 출력은 PWM의 듀티입니다. 그러나 이 애플리케이션 노트에서는 비율 제어만 설계되었습니다.

Figure 14. BLDC closed loop control diagram BLDC 폐쇄 루프 제어 다이어그램

폐 루프 시스템의 주요 구성 요소의 주요 기능은 다음과 같습니다.

- **FTM2**는 데드 타임 삽입으로 PWM을 생성합니다.
- **FTM1**은 홀 센서 신호를 포착하고 실제 속도를 계산합니다.
- **ADC**는 BUS의 전류 및 전압을 샘플링하여 시스템을 보호합니다.
- **TSI** (GPIO 방식) 및 FreeMASTER가 필요한 속도를 입력합니다.

4.4 Others

4.4.1 NMI pin

보드 APMOTOR568000e에서 PWM4는 FRDM-KE02Z 보드의 PTB4 핀에 연결됩니다 (이 핀은 NMI 핀으로도 사용됩니다). 그러나 기본적으로 PWM4는 GND로 떨어지며 NMI 인터럽트가 발생할 수 있습니다. 다음 그림을 참조하십시오.

따라서 NMI ISR에서 NMI 핀을 비활성화해야 합니다.

Figure 15. PWM4/NMI pin

4.4.2 R50 and R51

FRDM-KE02Z 보드에서 PTA1은 기본적으로 적외선 포트 (R51 = 0 옴, R50 DNP)에 연결됩니다. PTA1 핀이 모터 보드상의 하나의 홀 센서에 연결되어야 하므로 R50과 R51의 값은 교체되어야 합니다 (R50 = 0 옴, R51 DNP). 이 그림을 참조하십시오.

Figure 16. R50 and R51

5 Conclusion 결론

이 애플리케이션 노트에서는 BLDC 모터 제어 및 6 단계 정류 방법에 대한 기본 이론을 소개했습니다. 이 문서에서는 FRDM-KE02Z 보드를 통한 PWM 제어에 대해서도 설명했습니다. 이 애플리케이션 노트와 첨부 데모 코드 (AN4776SW.zip)를 통해 사용자는 BLDC 모터 제어 방법에 대해 명확한 아이디어를 얻을 수 있습니다.

6 References

자세한 내용은 다음 문서를 freescale.com 에서 참조하십시오.

1. AN4413: DSC 8257 (AN4413)에 의해 구동되는 홀 센서를 갖춘 BLDC 모터 제어
2. AN4376: Kinetis 에서 MQX 를 사용하는 홀 효과 센서를 사용한 BLDC 모터 제어 (AN4376)
3. KE02Z64M20SF0RM: KE02 하위 패밀리 참조 설명서

7 Revision history