

Application Note

BLDC Motor Control Using Sensored Sinusoidal PWM Modulation with the Z8FMC16100 MCU Z8FMC16100 MCU 로 감지 된 사인파 PWM 변조를 사용하는 BLDC 모터 제어

Abstract 개념

이 애플리케이션 노트에서는 Zilog 의 Z8FMC16100 마이크로 컨트롤러 (MCU) 시리즈를 사용하여 사인파 PWM 변조 모드에서 3-위상 브러시리스 BLDC 모터 제어에 대해 설명합니다. Zilog 의 Z8FMC16100 마이크로 컨트롤러 시리즈는 모터 제어 어플리케이션을 위해 특별히 설계되었으며, 이 MultiMotor 시리즈를 통해 MultiMotor Development Kit 를 사용하여 응용 프로그램에 특정한 아날로그 및 디지털 모듈의 통합 배열을 제공합니다. 그 결과 신속하고 정확한 오류 제어, 높은 시스템 효율 및 on-the-fly 속도 / 토크 제어뿐 아니라 맞춤형 어플리케이션을위한 펌웨어 개발의 용이성이 가능합니다. 이 문서는 **홀 센서 피드백과 함께 정현파 PWM 변조 및 위상 각 동기화를 구현하는 방법에 대해 자세히 설명합니다.** 이 결과는 Z8FMC16100 MCU, 3-위상 멀티 모터 개발 보드 및 내부 홀 센서가있는 3-위상, 24VDC, 30W, 3200RPM BLDC 모터가 장착 된 MultiMotor MCU 모듈을 기반으로 합니다.

Note:

이 애플리케이션 노트와 관련된 소스 코드 파일 AN0367-SC01.zip 은 Zilog 웹 사이트에서 무료로 다운로드 할 수 있습니다.

이 소스 코드는 Z8 II for Z8 Encore 버전 5.0.0 에서 테스트되었습니다! MCU. ZDS II 의 후속 릴리스에서는이 애플리케이션 노트와 함께 제공된 코드를 수정해야 할 수도 있습니다.

Features 특징

이 Z8FMC16100 애플리케이션 코드의 절전 기능은 다음과 같습니다.

- 시동 전류가 감소된 부드러운 모터 시동
- 3-홀 센서 피드백 정현파 PWM 변조
- 마이크로 컨트롤러 기반 과전류 보호
- 개방 및 폐쇄 루프에서 조정 가능한 속도 및 전류 (주파수 및 사인 크기)
- 모터 방향의 선택 가능한 제어
- PC 제어용 UART 인터페이스
- 고장 상태를 나타내는 LED

그림 1 은 Z8FMC16100 MCU 아키텍처의 블록 다이어그램을 보여준다.

Figure 1. The Z8FMC16100 MCU Architecture

Discussion 논문

이 사인파 PWM 드라이버가 구현 된 Z8FMC16100 시리즈 플래시 마이크로 컨트롤러는 Zilog 의 첨단 8 비트 eZ8 CPU 코어를 기반으로 하며, 명령 당 최소 2 클럭 사이클의 20MHz 외부 클럭을 갖추고 있다. 최대 16KB 내부 플래시 메모리는 CPU 가 액세스 할 수 있습니다. 최대 512 바이트의 내부 RAM 은 데이터, 변수 및 스택 작업의 저장 공간을 제공합니다.

PWM 정현파 운전은 블록 정류된 PMSM 모터 구동 방식과 비교할 때 특히 전기 및 저음향 소음 특성이 낮은 장점이 있습니다. 비교해 보면, 블록 정류 방식은 PMSM 모터 코일을 통한 거친 전류 전이를 유발하여 본질적으로 모터의 위상 권선을 정류 사이에서 켜고 끕니다.

PWM 정현파 방법은 전류 및 위상 전압이 사실상 정현파이기 때문에 모터 코일을 통해 이러한 거친 전류 전이를 생성하지 않습니다. 그러나 정현파 PWM 방식을 통해 작동하는 모터는 일반적으로 이 문서에서 설명한대로 3 차 고조파 정현파가 구현 될 때 블록 정류 된 모터보다 높은 효율로 작동합니다.

PWM 사인 드라이버 구성표의 장점으로 인해 PWM 사인파 작동은 전기 노이즈뿐 아니라 매끄러운 토크와 리플 커패시터 및 볼 베어링의 수명에 대한 우려가있는 특정 애플리케이션에 더 나은 옵션 일 수 있습니다.

정현파 PWM 구동 방식을 사용하여 PMSM 또는 BLDC 유형을 구동 할 수 있습니다. 모터가 사인파 구동 방식을 이용하려면 PMSM 유형 모터가 사인파 상차 배선으로 인해 최상의 결과를 나타낼 수 있습니다.

각 Z8FMC16100 시리즈 제품에서 새로운 eZ8 아키텍처를 사용하면 다음과 같은 향상된 제어 기능을 구현할 수 있습니다. 각각은 이 절에서 설명됩니다.

- 속도 제어를위한 타임 스탬프
- 통합 연산 증폭기
- 다중 채널 PWM 타이머

Time Stamp for Speed Control 속도 제어를위한 타임 스탬프

16 비트 타이머의 캡처 기능을 사용하여 홀 센서의 전기적 타이밍 기간에 대한 타임 스탬프를 사용할 수 있습니다. 미리 정의 된 홀 상태에서 비동기식으로 작동하는 타이머가 판독되고 PI 페 루프 제어를 사용하여 그 값이 계산 된 속도 기준값과 비교됩니다.

Integrated Operational Amplifier 통합 연산 증폭기

어플라이언스 컨트롤러는 ADC 와 함께 센서 및 센서리스 기술을 사용하여 모터 권선을 통해 전류를 감지함으로써 거의 항상 모터 속도를 모니터링합니다. 일반적으로 ADC 에 의한 샘플링 인스턴스는 MCU 에 의해 동기화 됩니다.

이 프로세스로 외부 연산 증폭기가 종종 전류 신호를 전압 신호로 변환하는 데 사용됩니다. ADC 는 다음으로 전압 신호를 샘플링하고 결과를 프로세서에 출력합니다.

Multichannel PWM Timer 다중 채널 PWM 타이머

각 Z8FMC16100 MCU 는 데드 밴드 동작 및 오류 보호 트립 입력을 지원하는 3 개의 상보 쌍 또는 6 개의 독립 PWM 출력을 갖춘 유연한 PWM 모듈을 특징으로한다. 이 기능은 다양한 모터 유형에 대해 다중 위상 제어 기능을 제공하며 오류 조건 동안 PWM 핀을 즉시 셧다운함으로써 모터의 안전한 작동을 보장합니다.

Theory of Operation 조작 이론

브러시리스 DC 모터에서 회전자는 영구 자석으로 구성되는 반면 고정자 권선은 다상 모터와 유사합니다.

일반적으로 모터의 위치와 속도를 결정하는 두 가지 방법이 있습니다 : 감도 제어와 센서리스 제어. 센서 기반 제어 애플리케이션에서 홀 소자는 모터에 통합되어 드라이브 및 사인파 동기화를 위해 회전자의 위치를 감지하는 데 사용됩니다. 대조적으로, 센서리스 제어는 제어 루프의 타이밍을 동기화하기 위해 특정 위상 권선에 의해 생성 (유도)되는 역기전력 (BEMF) 신호의 검출을 사용합니다. 인버터 브리지는 BLDC 모터 권선을 통해 PWM 사인 발생 전류를 구동하는 데 사용됩니다. (그림 2 참조).

Figure 2. 3-Phase BLDC Motor Control System 3-위상 BLDC 모터 제어 시스템

홀 감지 알고리즘은 홀 센서 신호의 에지 변경시 인터럽트를 위해 구성된 세 개의 I / O 포트를 사용하여 구현됩니다. 홀 센서를 사용하는 장점 중 하나는 모터가 시작될 때 모터의 각 위치가 알려지므로 불규칙한 시동 동작을 최소화한다는 것입니다.

PWM 듀티 사이클은 모터 권선에서 모터에 대한 토크를 생성하는 전압을 제공합니다. 회전 모터는 Hall 신호를 단일 I / O 서비스 인터럽트 루틴으로 벡터화하여 다음 정류 상태를 결정합니다.

BEMF 감지와 반대로 홀 센서를 사용하는 또 다른 이점은 갑작스럽고 강한 부하가 가해질 때 정류각의 정보가 손실 될 위험이 없다는 것입니다. 센서리스 피드백에서 극심한 부하 증가는 이전에 턴 오프 된 위상의 저장된 자기 에너지로 인한 유도 스파이크가 BEMF 정보를 억제하기에 충분히 넓어 질 수 있습니다. 그 결과, 정류각 정보가 손실되어 모터가 정지 될 수 있습니다.

홀 센서의 각 위치는 올바른 정류각에서 3-위상 전압을 모두 활성화하는 정보를 제공합니다. 3 단계 중 2 단계가 각 정류 단계마다 활성화되는 사다리꼴 또는 블록 정류와는 달리 정현 정류는 그림 2 에서처럼 각 정류 단계마다 모든 3 위상에 전원이 공급되어야합니다.

계산 시간을 절약하기 위해 펌웨어는 사인 값이 저장되는 룩업 테이블을 구현합니다. PWM 타이머 인터럽트 서비스 루틴은 50 μ s 마다 인터럽트되며 사인 테이블에서 사인 값을 가져 와서 위상 A, 위상 B 및 위상 C 에 대해 PWM 사인 주파수를 업데이트하는 데 사용됩니다. 이 방법은 사인 주파수를 업데이트하고

세 단계의 사인 크기를 조정하기 위해 매우 규칙적인 시간 간격을 제공합니다. PWM 타이머 인터럽트 서비스 루틴을 종료하기 직전에 이 세 PWM 채널은 새로운 PWM 변조 값으로 업데이트됩니다.

이 애플리케이션의 경우 MOSFET의 선형 스위칭 전력 손실을 최소화하고 가청 잡음 범위를 벗어나기 위해 20 kHz의 PWM 타이머 주파수를 선택했습니다.

PWM Frequency Calculations PWM 주파수 계산

256 사인 배열의 모든 값을 사용하면 주파수는 다음과 같습니다. :

$$\frac{1}{(\text{PWM period} \times 256)} = \frac{1}{50\mu\text{s} \times 256} = 78.125\text{Hz}$$

모든 두 번째 사인 값이 대신 사용되면 주파수는 효과적으로 두 배가 되고 다음과 같이 됩니다. :

$$\frac{1+n}{(\text{PWM period} \times 256)} = \frac{2}{50\mu\text{s} \times 256} = 156.25\text{Hz}$$

이 두 번째 방정식에서 분자는 배열 요소에 대한 오프셋의 1 + n 번째 숫자를 나타냅니다. 분자가 클수록 사인 주파수는 높아집니다. 사인파의 더 넓은 사인 주파수 범위와 해상도를 얻는 더 좋은 방법은 룩업 테이블에서 다음 PWM 사인 값을 가져오는 데 상위 바이트만 사용되는 16 비트 정수형 사인 인덱스를 사용하는 것입니다. 주파수 수요에 따라 상위 바이트의 값은 사인 인덱스가 계속해서 롤오버되는 동안 각 사인 어레이 값에 더 많은 또는 더 적은 시간 동안 충돌하면서 높은 세분성으로 바뀔 수 있습니다. 이 메서드를 사용하면 256 요소 사인 테이블에 대한 16 비트 포인터를 사용하는 가장 낮은 기간은 다음과 같습니다.

$$65535 \times 50 \mu\text{s} = 3.277 \text{ seconds}$$

사인 주파수가 60Hz 라고 가정하면 사인 테이블 포인터의 오프셋 값은 다음과 같습니다 :

$$\text{SineIndexOffset} = \frac{60 \times 65536}{20000} \approx 196$$

생성된 사인파의 분해능은 사인 주파수의 함수입니다.

Sine and Hall Commutation and Frequency Adjustment 사인 및 홀 정류 및 주파수 조정

홀 센서 인터럽트는 60 도마다 한 번씩 6 번 발생하므로 정현파 정류 각도와 주파수를 홀 정류 각 및 주파수와 동기화하는 데 사용되는 회전자 위치에 대한 데이터를 제공합니다. 즉, 회전자 주파수 및 각도 위치는 고정자 주파수 및 각도 위치와 동기화됩니다. 이 동기화의 목표는 회전자와 고정자의 각도 위치 사이를 90 도 유지하는 것입니다.

4 페이지의 그림 2는 PWM 인터럽트 서비스 루틴에서 재구성 된 룩업 테이블 (LUT)의 값을 기반으로 3 개의 120 도 시프트 된 사인파를 생성하는 것을 보여줍니다.

Speed Calculations 속도 계산

회전자의 각주기 시간은 전기적 정류의 1/6 마다 포착되며, Timer0 은 타이머 틱의 수를 나타냅니다. 이 타이머 틱은 potentiometer 에서 나오는 요구 속도와 비교(타이머 틱에도 표시)되고 PI 폐쇄 루프에서 처리되어 룩업 테이블 값을 조정하여 모터 주파수를 변경합니다. 개방 또는 폐쇄 루프에서 사인 주파수의 증분 값은 로터 주파수의 함수입니다.

각속도 계산은 다음과 같습니다 :

$$\omega = \frac{d\phi}{dt}$$

이 방정식에서, $d\phi$ 는 각 변위이고, dt 는 각 변위에 걸리는 시간입니다.
위치 정보는 홀 센서 이진 상태에 의해 제공되며 각 위치 간의 시간은 Timer0 타이머 틱에 의해 측정됩니다.

정현파 구동 모터의 주파수는 다음 방정식을 사용하여 계산됩니다 :

$$F(\text{rotor}) = \text{RPM} * \frac{p}{120}$$

회전자 주파수는 다음과 같습니다 :

$$F(\text{rotor}) = \frac{p/2}{\text{Measured ticks} * \text{timer resolution} * \text{commutation steps} * 60}$$

Measured ticks : 측정된 틱
timer resolution : 타이머 해상도
commutation steps : 정류 단계

$\text{RPM} = (120 * f) / N$, 여기서 N 은 극 쌍의 수입니다

그림 3은 이러한 계산이 3-위상 BLDC 모터의 PWM 사인 연산에 어떻게 영향을 줄 수 있는지를 보여줍니다.

위에서 논의한 정현파 PWM 모터 드라이버 접근법을 구현하는 데 사용되는 하드웨어가 그림 4의 블록 다이어그램에 나와 있습니다.

Figure 3. Simplified PWM Sine Operation of a BLDC Motor / BLDC 모터의 간소화 된 PWM 사인 작동

Figure 4. 3-Phase BLDC Motor Control System / 3 위상 BLDC 모터 제어 시스템

Overcurrent Protection 과전류 보호

전류는 시동, 부하 변동 또는 모터 및 전자 장치를 보호해야 하는 치명적인 오류 발생시 과도한 양에 도달할 수 있습니다. Z8FMC16100 MCU의 핵심 기능은 온칩 통합 비교기를 PWM 모듈에 직접 연결하여 과전류 이벤트 중에 신속한 사이클 별 셧다운을 가능하게 하는 것입니다.

이러한 일련의 이벤트를 나타내는 오실로스코프 생성 파형이 그림 5에 나와 있습니다.

Figure 5. Cycle-by-Cycle Shutdown

Testing 테스트

이 섹션에서는 코드를 실행하고 설정, 구현 및 구성, 테스트 결과를 포함하여 감지된 정현파 PWM 애플리케이션을 시연하는 방법에 대해 설명합니다.

Equipment Used 사용된 장비

다음 장비가 설정에 사용됩니다. 첫 번째 네 항목은 MultiMotor Development Kit (ZMULTIMC100ZCOG)에 포함되어 있습니다.

- MultiMotor 개발 보드 (99C1358-0001G)
- 24V AC / DC 전원 공급 장치
- LINUX 3-위상 24VDC, 30W, 3200RPM BLDC 모터 (45ZWN24-30)
- Opto-Isolated UART-to-USB adapter (99C1359-001G)
- Z8FMC 멀티 모터 MCU 모듈 (99C1395-001G) - 별도 주문
- Opto-Isolated USB SmartCable (99C0968) - 별도 주문
- 디지털 오실로스코프 또는 로직 애널라이저

Hardware Setup 하드웨어 설치

그림 6 은 응용 프로그램 하드웨어 연결을 보여줍니다.

Figure 6. MultiMotor Development Kit with Z8FMC MCU Module and SmartCable
Z8FMC MCU 모듈 및 SmartCable 이있는 MultiMotor 개발 키트

Testing Procedure 테스트 순서

Z8FMC16100 MCU 모듈에서 감지 된 정현파 PWM 변조를 테스트하려면 다음 절차를 따르세요.

1. ZDS II - Z8 Encore 를 다운로드하십시오! 버전 5.0.0 (또는 최신) Zilog 스토어에서 PC 에 설치하십시오.
2. Zilog 웹 사이트에서 AN0367-SC01.zip 소스 코드 파일을 다운로드하여 압축을 풉니다. PC 의 적절한 위치로 이동하십시오.
3. 그림 6 과 같이 하드웨어를 연결하십시오.
 - a. 다음과 같이 Z8FMC16100 MCU 모듈 (99C1395) 점퍼가 올바르게 구성되었는지 확인하십시오.
 - J20 점퍼가 켜져있어 메인 보드의 VBUS 릴레이를 활성화합니다
 - 두 개의 J21 점퍼는 UART 가 올바르게 작동 할 수 있도록 3-4 및 7-8 위치에 있습니다.
 - 3 개의 J22 점퍼가 HSx 위치에 있어 적절한 센서리스 모터 제어가 가능합니다
 - b. opto-isolated USB SmartCable 및 UART-to-USB 어댑터의 케이블은 PC 의 USB 포트 중 두 개에 연결해야 합니다.
 - c. 필요한 경우 SmartCable 및 UART-to-USB 어댑터 용 드라이버를 다운로드하여 설치하십시오.
도움이 필요하면 MultiMotor 시리즈 개발 키트 빠른 시작 안내서 (QS0091)를 참조하십시오.
4. 키트에 포함된 24VDC 어댑터를 사용하여 MultiMotor 개발 보드의 전원을 켭니다.
5. HyperTerminal, TeraTerm 또는 Real-Term 과 같은 직렬 터미널 에뮬레이션 프로그램을 사용하여 직렬 포트를 57600-8-N-1-N 으로 구성하십시오. **PC 에 콘솔 화면이 나타나서 모터의 상태를 표시하고 모터 작동을 변경할 수 있습니다.**
6. ZDS II - Z8 Encore 실행! 파일 메뉴에서 프로젝트 열기를 선택하십시오.
AN0367-SC01 소스 코드를 다운로드 한 PC 의 디렉토리로 이동하십시오. AN0367_SC01.zdsproj 파일을 찾아 이를 강조 표시 한 다음 열기를 선택하십시오.
7. Z8FMC16100 MCU 모듈의 RUN / STOP 스위치가 STOP 위치에 있는지 확인하십시오.
8. ZDS II 에서 Build 메뉴의 Rebuild All 을 선택하여 Z8FMC16100 MCU Module 에 펌웨어를 컴파일하고 플래시하십시오.
그런 다음 디버그 → 다운로드 코드를 선택한 다음 디버그 → 이동을 선택하십시오.
9. Z8FMC16100 MCU 모듈의 RUN / STOP 스위치를 RUN 으로 설정하십시오. 모터가 선회를 시작해야 합니다.
10. GUI 터미널 콘솔에서 문자 U 를 입력하여 UART 제어로 전환하십시오. 그림 7 과 같은 메뉴가 나타납니다. 결과적으로 콘솔을 사용하여 모터 작동을 변경하는 명령을 입력 할 수 있습니다.

Figure 7. GUI Terminal Showing UART Control UART 컨트롤을 보여주는 GUI 터미널

Input Command : 프롬프트에서 문자 H 를 입력하여 하드웨어 제어를 다시 설정하십시오. 그림 8 을 참조하십시오.

Figure 8. GUI Terminal Showing Hardware Control 하드웨어 제어를 보여주는 GUI 터미널

이제 주 프로그램에 응용 프로그램 소프트웨어를 추가하여 추가 기능을 실험 할 수 있습니다.

NOTE :

코드를 디버깅하는 동안 Opto-Isolated USB SmartCable 이 MCU 의 리셋 핀을 제어하는지 확인하십시오.

디버깅 및 코드 실행 후 MultiMotor MCU 모듈의 J14 에서 Opto-Isolated USB SmartCable 을 분리하여 재설정 핀을 해제하고 전원주기를 적용하여 MCU 를 디버그 모드에서 재설정하십시오.

Results 결과

Linux BLDC 유형 및 Teknik / Hudson PMSM 유형 모터는 해당 전압 및 전류 파형을 비교하기 위해 테스트되었습니다.

BLDC 모터의 작동 중에 3 개의 오실로스코프 프로브가 홀 센서에 연결되었으며, 스코프 프로브는 필터가 있는 3 개의 모터 위상 BEMF 저항 분배기 중 하나에 연결되어 3 개의 사인파 위상 전압 중 하나와 함께 3 개의 120 도 시프트 홀 센서를 나타냅니다. 스코프 채널은 AC 로 설정되어 사인파의 양수 및 음의 절반이 중간 점을 기준으로 번조됩니다. 이 3 가지 전압과 하나의 전류 파형은 BLDC 및 PMSM 모터에 대해 각각 그림 9 와 10 에 표시되어 있습니다.

Figure 9. Linux BLDC Motor Phase Voltages and One Current Waveform
Linux BLDC 모터 위상 전압 및 하나의 전류 파형

Figure 10. Hudson Teknik PMSM Motor Phase Voltages and One Current Waveform
Hudson Teknik PMSM 모터 위상 전압 및 하나의 전류 파형

Speed Control Performance in a Closed Loop 폐쇄 루프의 속도 제어 성능

폐쇄 루프에서 작동하는 동안 속도 제어 기능의 성능을 모니터링하기 위해 모터 속도는 공칭 작동 전압 24V 에서 2000 RPM 으로 설정되었습니다. 이 작동 전압이 + 4V 만큼 증가 및 감소함에 따라 모터 속도가 일정하게 유지되는 것으로 관찰되었습니다. 부하시 PI 루프를 테스트하기 위해 모터 부하가 증가하여 PI 가 설정 속도를 유지하기 위해 전류를 신속하게 상승시킵니다. PI 루프 안정성은 정현파주기 시간이 진폭과 주파수에서 일정하게 유지되어야하는 조건인 주행 모터를 로드하는 동안 전압 사인파를 관찰함으로써 확인되었습니다.

Speed Control Performance in an Open Loop 개방 루프에서의 속도 제어 성능

개방 루프에서 작동하는 동안 속도 제어 기능의 성능을 모니터링하기 위해 모터 속도는 공칭 작동 전압 24V 에서 2000 RPM 으로 설정되었습니다. 이 작동 전압이 + 4V 만큼 증가 및 감소함에 따라 모터 속도가 변화하는 것으로 관찰되었습니다. 모터 부하가 증가하여 속도가 약간 떨어지는 동안 모터 전류가 증가하게 됩니다.

Summary 개요

이 애플리케이션의 목적은 정현파 PWM 기법을 사용하여 BLDC 또는 PMSM 유형 기계의 작동을 시연하는 것이 었습니다.

BLDC 기계에 대해 120 도 간격으로 정현파 전압과 전류를 생성하기 위해 사인파 (LUT)가 구현되어 3 개의 사인파를 재구성했으며 공식은 모터 주파수를 계산하는 것으로 나타났습니다. 주파수 계산에는 PWM 주기가 포함되기 때문에 모든 정현파 구성은 PWM 인터럽트 서비스 루틴에서 실행됩니다. PWM 서비스 인터럽트 루틴에서 사인파 재구성을 실행하는 데 걸리는 시간은 20 μ s 입니다. 홀 인터럽트 서비스 루틴의 실행 시간은 30 μ s 입니다. 두 실행 시간은 모두 20MHz 외부 클럭을 기반으로합니다.

회전자 위치와 고정자 위치 사이의 90 도 관계를 유지하기 위해 홀 인터럽트 서비스 루틴은 각 인터럽트시 이진 홀 상태를 캡처하고 찾아보기 테이블 (LUT)에서 해당 기준 각도를 가져옵니다.

PWM sine Look Up Table 인덱스의 상위 바이트는 Sine Look Up Table (LUT)에서 다음 값을 가져 오는 데 사용됩니다. PWM sine Look Up Table 인덱스의 상위 바이트에 대한 오프셋 값은 사인파의 주파수를 변경합니다.

정현파 PWM 동작은 권선을 통한 사인 전류가 급격한 전류 전이를 가지지 않기 때문에 적은 음향 및 전기적 잡음으로 BLDC 또는 PMSM 을 정류하는 이점이있다. 결과적으로 정현파 정류 방식이 PMSM 또는 BLDC 유형 모터에서 토크 또는 전류 리플을 발생시키지 않기 때문에 리플 전류 커패시터 및 볼 베어링에 더 부드러운 토크와 더 높은 평균 수명이 기대 될 수 있습니다. 전기적 및 음향적 노이즈 감소 외에도 PWM 사인 방식은 3 차 고조파가 사인파에 주입 될 때 약 15 %의 효율성을 증가시킵니다 (이 애플리케이션의 경우).

References 참고

다음 문서는 Z8FMC16100 시리즈 모터 제어 MCU 와 각각 관련됩니다. 각각은 Zilog 웹 사이트에서 무료로 다운로드 할 수 있습니다.

- **Z8FMC16 Series Motor Control Product Specification (PS0246)**
Z8FMC16 시리즈 모터 제어 제품 사양
- **MultiMotor Series Development Kit Quick Start Guide (QS0091)**
MultiMotor 시리즈 개발 키트 빠른 시작 안내서
- **MultiMotor Series Development Kit User Manual (UM0262)**
MultiMotor 시리즈 개발 키트 사용자 매뉴얼
- **eZ8 CPU Core User Manual (UM0128)**
eZ8 CPU 코어 사용자 매뉴얼
- **Zilog Developer Studio II – Z8 Encore! User Manual (UM0130)**
Zilog Developer Studio II – Z8 Encore! 사용자 설명서
- **Three-Phase Hall Sensor BLDC Driver Using The Z8FMC16100 MCU Application Note (AN0368)**
Z8FMC16100 MCU 를 사용한 3 위상 홀 센서 BLDC 드라이버 애플리케이션 노트
- **Space Vector Modulation of a 3- Phase AC Induction Motor with the Z8FMC16100 MCU Application Note (AN0369)**
Z8FMC16100 MCU 를 사용한 3 위상 AC 유도 모터의 공간 벡터 변조 애플리케이션 노트
- **Sensorless Brushless DC Motor Control with the Z8FMC16100 MCU Application Note (AN0370)**
Z8FMC16100 MCU 로 센서리스 브러시리스 DC 모터 제어 애플리케이션 노트
- **Motor Control Electronics Handbook, Richard Valentine; McGraw Hill, 1998**
모터 제어 전자 핸드북, Richard Valentine; 맥그로 힐

Appendix A. Schematic Diagrams

그림 11 과 12 는 Z8FMC 멀티 모터 MCU 모듈의 회로도를 보여줍니다.

Figure 11. Z8FMC16100 MultiMotor MCU Module, #1 of 2 Z8FMC16100 다중 모터 MCU 모듈, 1 중 2

Figure 12. Z8FMC16100 MultiMotor MCU Module, #2 of 2 Z8FMC16100 다중 모터 MCU 모듈, 2 중 2

그림 13 과 14 는 MultiMotor Main Development Board 의 회로도를 보여줍니다.

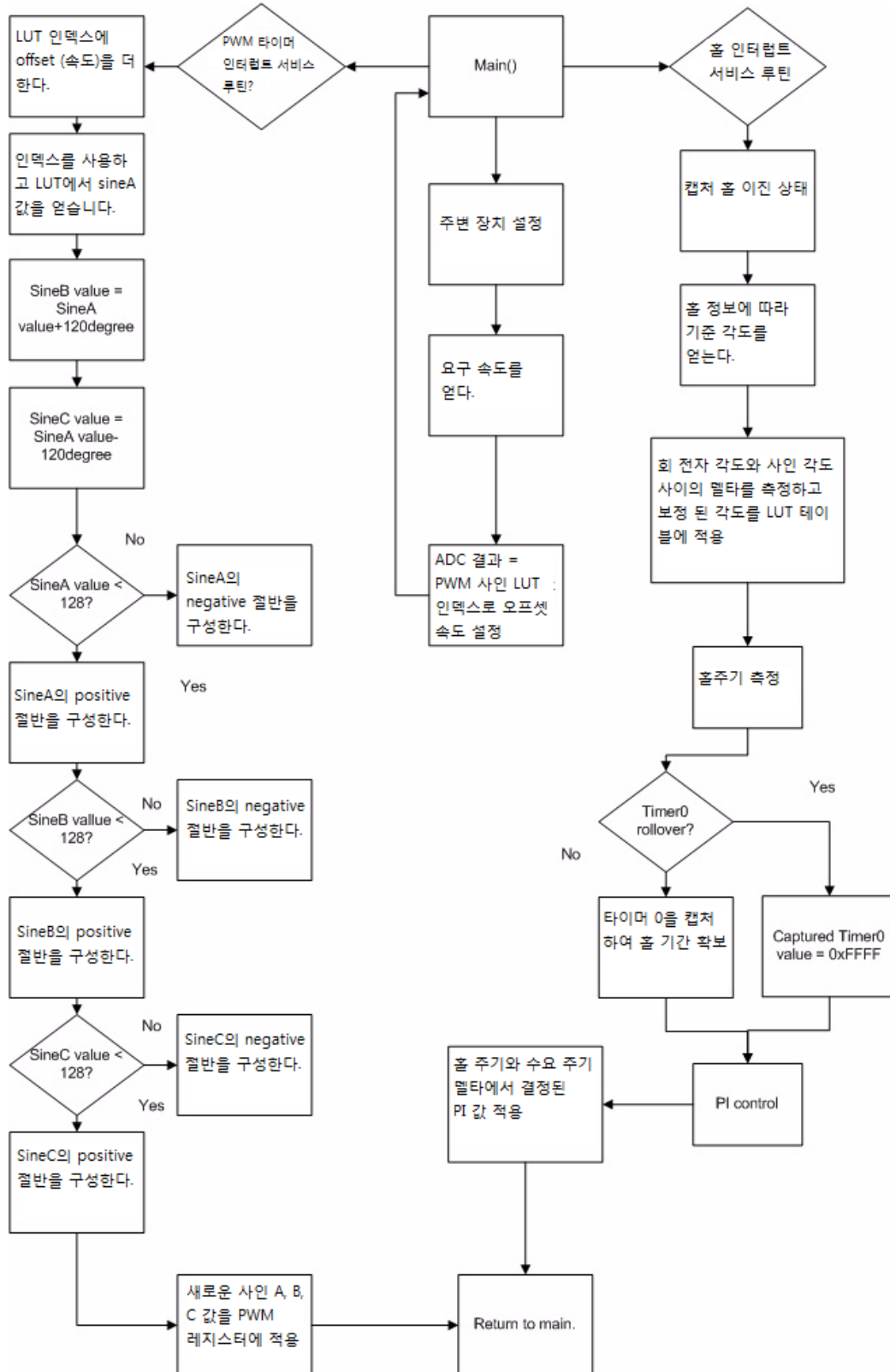
Figure 13. MultiMotor Development Board, #1 of 2 MultiMotor 개발 보드, 1 중 2

Figure 14. MultiMotor Development Board, #2 of 2 MultiMotor 개발 보드, 2 중 2

Appendix B. Flow Charts

그림 15 는 Z8FMC16100 MCU 를 사용하여 3 위상 BLDC 모터를 제어 할 수있는 알고리즘을 보여줍니다.

Figure 15. Simplified Control Algorithm 단순화 된 제어 알고리즘



Customer Support 고객 지원 ... 은 중요치 않은 것 같아서 생략합니다.