
광-EtherCAT 네트워크 기반 PMSM의 벡터제어 구현

김용진* · 김광현* · 배영철**

An Implementation of Vector Control of AC Servo Motor based on Optical-EtherCAT Network

Yong-Jin Kim* · Kwang-Heon Kim* · Young-Chul Bae**

요약

본 논문에서는 로봇에서 다축 모션 제어를 쉽게 할 수 있는 AC 서보 드라이버의 성능 검증을 위하여 벡터 전류 제어 구현 기법을 제안한다. 이를 위해 먼저 PMSM을 구동을 위한 드라이버를 개발한 후 이 드라이버가 정상적으로 동작하는지를 벡터 전류로 확인하였다. 벡터 제어는 무부하에서 전류 벡터 제어를 실행하여 지령 전류에 따른 추종 전류를 비교하였다. 검증 결과 만족할 만한 결과를 얻었음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper we propose implement technique of vector current control in order to verify performance of an AC servo driver that is able to easy control of motion with multi-axis in the robot. In doing do, we have developed the AC servo driver to driving PMSM, and then we confirm that this driver whether operating or not normally by controlling of vector current. The vector current control was performed at the no load condition in PMSM. Then we compare command control and tracking control. As a result of verification, we recognize we get a satisfactory result.

키워드

Optical network, Vector control, Current control EtherCAT, AC servo driver, Motion control
광 네트워크, 벡터 제어, 전류 제어, 이더넷, 교류 서보 드라이버, 모션 제어

1. 서론

로봇에서 사용하는 모터는 대표적으로 DC 모터, BLDC(brushless direct current) 모터, RC 모터, 초음파 모터, 스텝핑 모터, 리니어 모터, AC 서보모터 [1-3] 등이 있다. 이들 모터들은 구동과 제어를 위해 사용자 및 설계자가 모터와 드라이버가 모두 구성되어 있는 일체형과 모터와 드라이버가 각각 구성되는 별도형을 선택하여 사용하고 있다.

최근에는 산업용 제어 시스템을 포함하여 로봇 시스템에 있어서 사용자는 정밀하면서도 지능화된 서비스를 제공할 수 있는 보다 복잡한 로봇을 원하고 있으며 이로 인해 로봇의 내부시스템의 구조 또한 복잡·다양해지고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 로봇 내부시스템에 대한 네트워크 기술은 로봇 시스템의 분산제어 및 다중 제어를 실현할 수 있는 대안으로 제시되고 있다

최근에 로봇에서 네트워크 기반으로 모터를 제어하

* 전남대학교 공과대학 전기공학과(jjk2019@gscaltex.com, khk@chonnam.ac.kr),

** 교신저자 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 02. 16

심사(수정)일자 : 2013. 03. 25

게재확정일자 : 2013. 04. 22

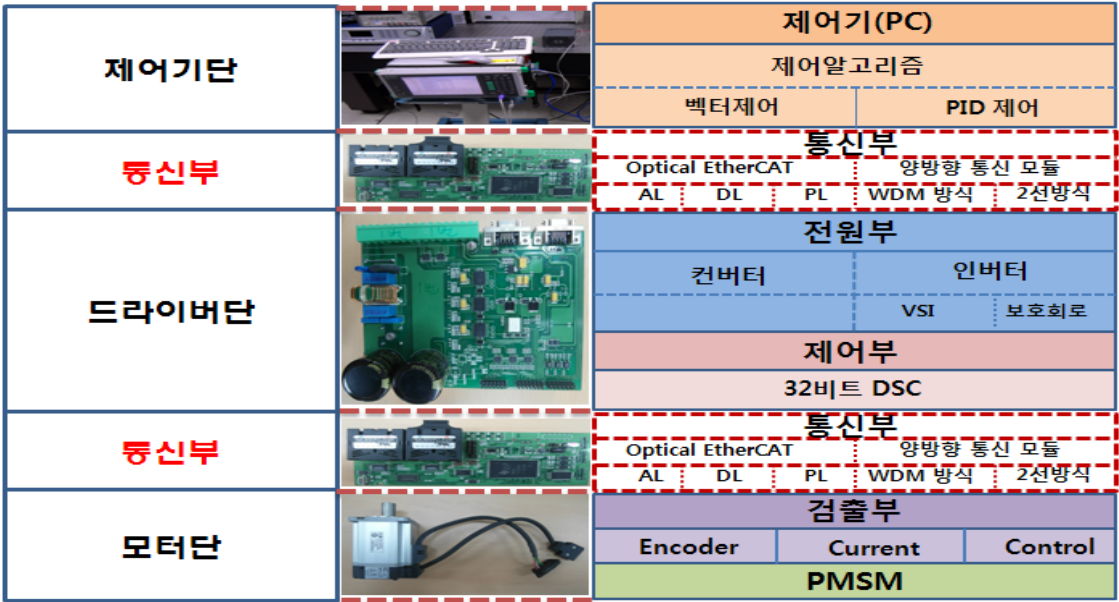


그림 1. PMSM 드라이버와 벡터 제어의 전체 시스템의 블록도
 Fig. 1 Block diagram of total system of PMSM driver and vector control

는 연구[4-10]가 활발하게 진행되고 있다. 최근의 로봇은 로봇 구조가 복잡해지고 사용자에게 의해 보다 정밀한 모션제어 수요 요구에 부응하기 위하여 고정도 위치 제어용 모터인 AC 서보모터의 사용과 네트워크에 의한 제어[4,6,8,10]의 필요성이 높아지고 있다. AC 서보모터의 경우 비교적 크기가 작고 고정도의 성능을 가지는 영구자석형동기모터(PMSM, Permanent Magnetic Synchronous Motor) 많이 적용되고 있다.

이와 같은 사용들의 요구 사항을 만족시키기 위한 방법 중 하나는 모터 드라이버를 직접 개발하는 것이 바람직하나 드라이버의 구조의 복잡성으로 인하여 일반적으로 개발이 쉽지 않은 것으로 알려져 있다 [7-10].

본 논문에서는 로봇에서 정밀한 위치제어의 어려운 점을 극복하고 네트워크 제어를 위해 양방향 광-EtherCAT에 기반한 AC 서보 드라이버를 구현[7,10]에 기반하여 이 드라이버의 성능 검증을 위하여 PMSM에 대하여 무부하 상태에서 전류 벡터 제어를 수행하여 성능을 검증하였다.

II. PMSM 드라이버와 벡터 제어를 위한 전체 시스템

다축 모션 제어를 위한 AC 서보 모터 드라이버 시스템은 그림 1과 같이 크게 제어기단, 통신부, 드라이버단, 모터단의 3단 1부로 구성한다.

이 전체 제어기단은 PC로 구성한다. 통신부는 드라이버 모듈 사이의 통신을 수행하며 통신 속도의 향상과 EMI/EMC 문제를 해결하기 위하여 광-EtherCAT 기반의 광통신으로 구성한다. 드라이버단은 크게 전원부와 제어부로 구성한다. 제어부에서는 실질적인 벡터 제어를 수행하도록 구성한다.

모터단은 PMSM의 모터로서 인코더가 내장된 파나소닉 제품의 PMSM 서보 모터를 사용하여 구성하였다.

그림 2에 전체 시스템으로 구성한 실제 실험 장치를 나타내었다. 본 시스템은 2축의 PMSM 로봇을 제어하는 구조로 구성한다.

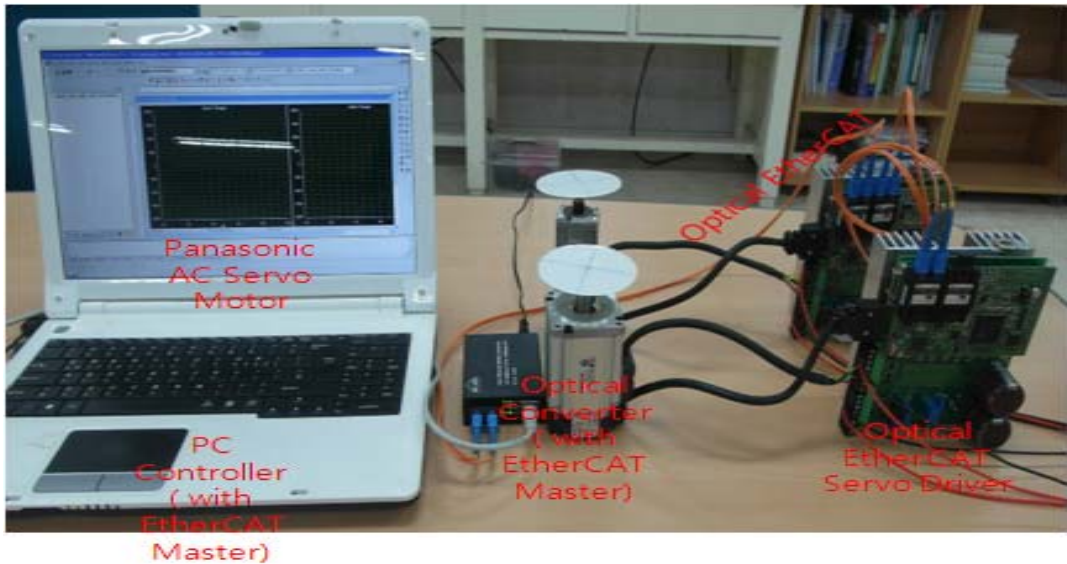


그림 2. PMSM 드라이버와 벡터 제어의 전체 시스템
 Fig. 2 Total system of PMSM driver and vector control

III. PMSM의 벡터 전류 제어

PMSM의 벡터 제어를 위해서는 3상의 교류를 2상의 직류로 변환하는 과정이 필요하다. 이를 위해서는

그림 3에서 보는 것과 같이 먼저 3상의 교류를 2상의 교류로 변환하는 Clarke 변환이 수행되어야 하고, 다시 2상의 교류를 2상의 직류인 d,q축으로 변환하는 과정이 필요하며 실제 모터에 공급하는 전류를 위해

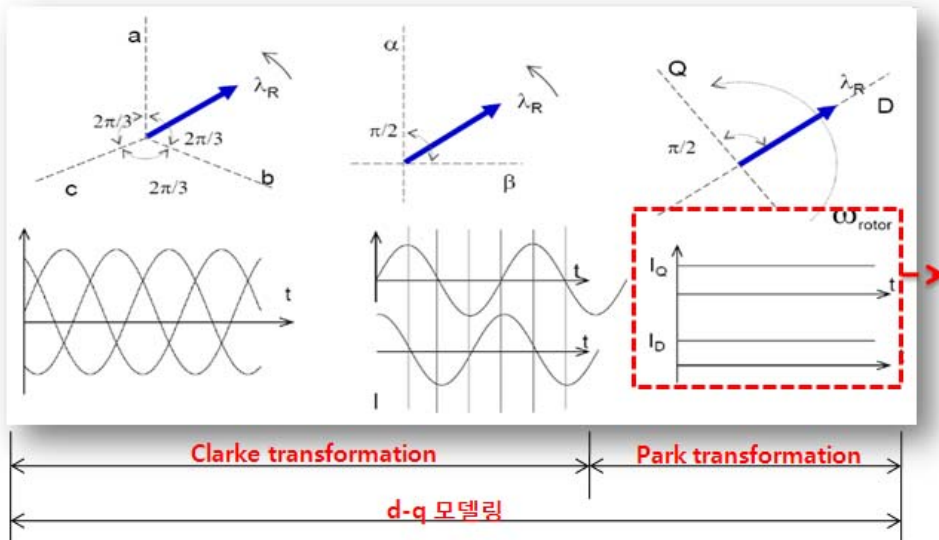


그림 3. 벡터 제어를 위한 좌표 변환
 Fig. 3 Coordinate transform for vector control

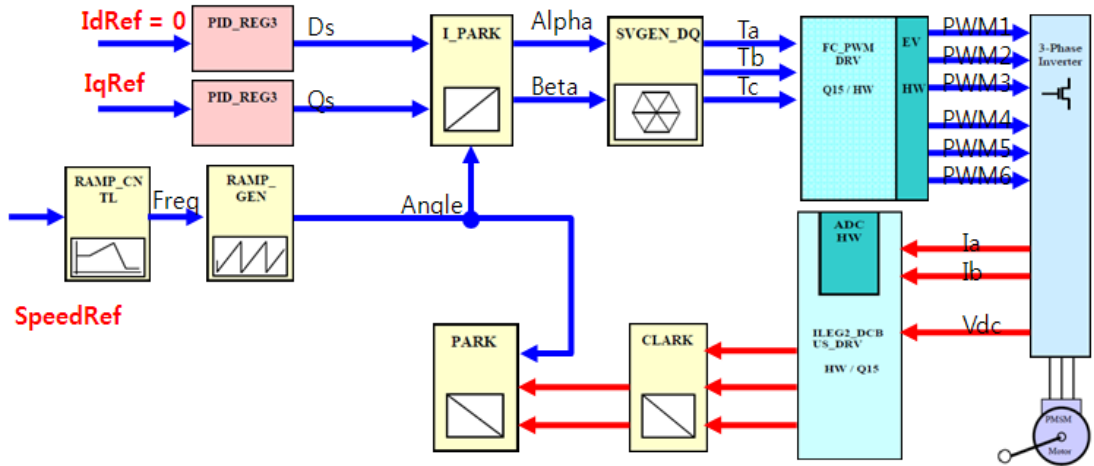


그림 4. PMSM의 전류 제어를 위한 블록 다이어그램
Fig. 4 Block diagram for current control of PMSM

서는 이들에 대한 각각의 역변환 과정이 필요하다. 이러한 변환 과정을 d-q 모델링이라고 한다.

본 연구에서는 벡터 제어 중에서 벡터 전류 제어를 위한 기법을 실험을 통해서 적용하였다. 이에 대한 블록 다이어그램을 그림 4에 나타내었다.

그림 4는 PMSM에 공급하기 위한 3상 전압과 전류를 SVPWM 방식을 적용하고 공급하고 있음을 알 수 있다. 또한 Clarke 변환과 Park 변환과 이에 대한 역변환 과정이 이에 대한 역변환 과정을 나타내고 있다. 역변환 과정 중 Clerk 역변환 과정은 블록 다

이어그램에 나타나 있지 않지만 SVGEN 내부에서 역변환을 진행한다.

그림 4와 같은 블록 다이어그램을 통하여 얻어진 전류 제어 결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. 그림 5는 1축과 2축 각각에 대한 벡터 전류에 대한 실험 결과로서 +700mA, 지령 전류를 주었을 때의 결과이다. 이 결과 일정 시간이 지난 후에 지령 전류를 추종하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 6은 1축과 2축의 벡터 전류에 대한 실험 결과로서 +700mA, 0mA, -700mA, +700mA, -700mA, 0mA의 지령 전류

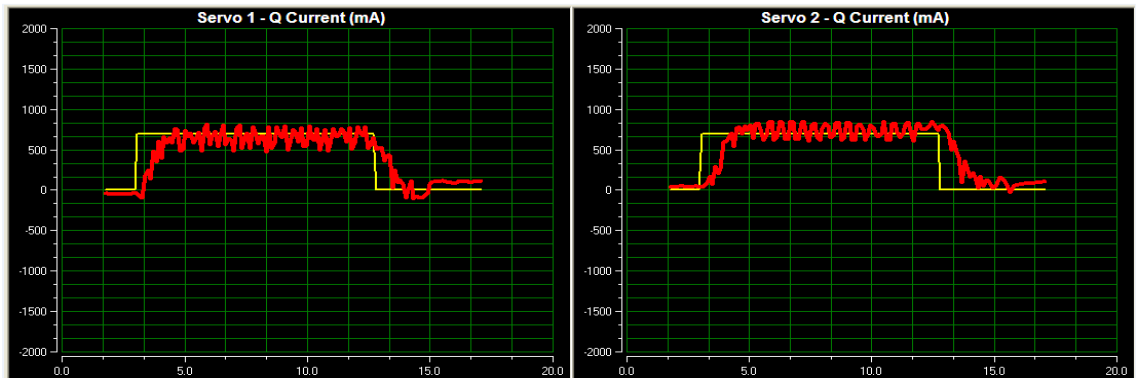


그림 5. PMSM에 +700mA의 지령 전류를 주었을 때의 전류 벡터 제어 결과
Fig. 5 Result of current vector control when applying +700mA as command current at PMSM

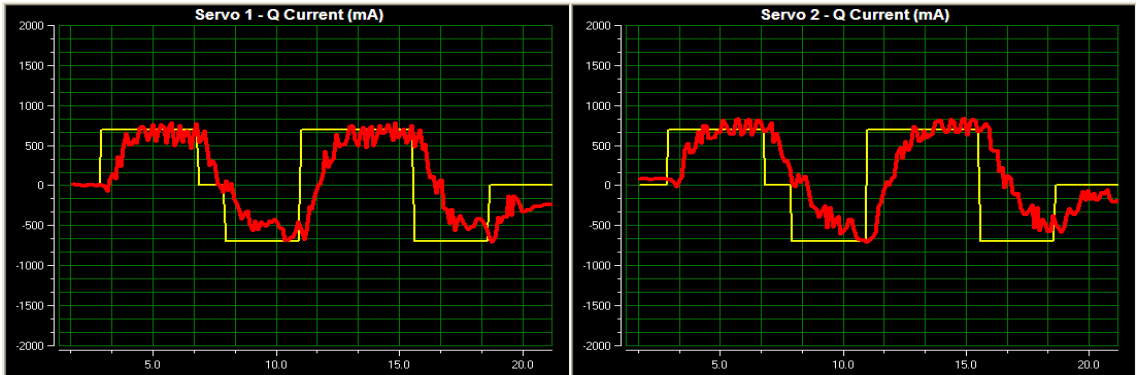


그림 6. PMSM에 700mA, 0mA, -700mA, +700mA, -700mA, 0mA의 지령 전류를 주었을 때의 전류 벡터 제어 결과

Fig. 6 Result of current vector control when applying 700mA, 0mA, -700mA, +700mA, -700mA, 0mA as command current at PMSM

를 주었을 때의 벡터 전류의 결과를 보여주고 있다. 제어 결과 만족할 만한 결과를 얻었음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 다축 로봇 매니플레이터에 적용하기 위한 기본 연구로서 2축 PMSM 드라이버를 구현하고 구현한 드라이버를 검증하기 위하여 전류 벡터 제어를 수행하였다. 드라이버 구현은 광-EtherCAT으로 통신 모듈을 구성하고 벡터 전류 제어를 수행하였다. 앞으로 본 시스템을 가지고 속도 제어와 위치를 구현하는 것이 과제로 남는다.

참고 문헌

- [1] 이규명, 김용재, "보조극 변화에 따른 전기자 분산 배치 영구 자석성 리니어 동기 모터의 코깅력 저감에 관한 연구", 한국전자통신학회논문지, 5권, 6호, pp. 613-619, 2010.
- [2] 이호형, 조황, 이기서, " Sensorless BLDC 전동기 구동을 위한 개선된 스위칭 방법", 한국전자통신학회논문지, 5권, 2호, pp. 164-170, 2010.
- [3] 전용호, 조황, " IPMSM 전동기의 비선형 적응 백스텝핑 속도 제어", 한국전자통신학회논문지, 6권, 6호, pp. 889-895, 2011.
- [4] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, " 다수의 모터를 활용한 로봇 관절 구조 설계", 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 417-423, 2012.
- [5] 문용선, 이영필, 서동진, 이성호, 배영철, " EtherCAT을 이용한 소프트 모터 제어기 개발에 관한 연구", 퍼지 및 지능시스템학회논문지, 17권, 6호, pp. 826-831, 2007.
- [6] 문용선, 이광석, 서동진, 이성호, 배영철, " 로봇 모듈 구현을 위한 네트워크 기반 모터 제어 드라이버 개발", 퍼지 및 지능시스템학회논문지, 17권, 7호, pp. 887-892, 2007.
- [7] 문용선, 배영철, 박종규, 노상현, "Ship Area Network(SAN)를 위한 Zigbee 및 광 통신 유무선 통합 모듈 구현", 한국전자통신학회논문지, 5권, 5호, pp. 428-434, 2010.
- [8] 문용선, 이광석, 서동진, 배영철, " 광 EtherCAT을 이용한 네트워크 기반 모터 제어기 개발", 제어·로봇·시스템학회논문지, 14권, 5호, pp. 487-472, 2008.
- [9] Yongseon Moon, Nak Yong Ko, Kwangseok Lee, Youngchul Bae, Jong Kyu park, " Real-time EtherCAT Master Implementation on Xenomai for a Robot System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 244-248, 2009.
- [10] 김용진, 배영철, 김광현, " 로봇의 다축 모션 제어용 AC 서보 모터 드라이버 구현", 한국전자통신학회논문지, 7권, 3호, pp. 553-557, 2012.
- [11] Rigober Kynast, "SERCOS Interface", SERCOS interface working group, 2000.

- [12] EtherCAT Technology Group, "EtherCAT Communication Specification", 2004.
- [13] Beckhoff, "EtherCAT Slave Controller (ESC10/20 Hardware Data Sheet)", 2005.

저자 소개



김용진(Yong-Jin Kim)

1983년 전남대학교 전기공학과(공학사)
 1987년 전남대학교대학원 전기공학과(공학석사)

2001년 전남대학교대학원 전기공학과(공학박사 수료)
 1987년~2012 현재 GS칼텍스
 2001년~2002년 6 Sigma Black Belt Project Leader
 2005년~2010년 Mega Project 수행
 ※ 관심분야 : 전력 전자, 모터 제어



김광헌(Kwang-Heon Kim)

1983년 전남대학교 전기공학과(공학사)
 1986년 서울대학교대학원 전기공학과(공학석사)

1992년 서울대학교대학원 전기공학과(공학박사)
 1992년~1994년 전남대학교 전기공학과 전임강사
 1994년~1998년 전남대학교 전기공학과 조교수
 1998년~2003년 전남대학교 전기공학과 부교수
 1999년~현재 전남대학교 광응용기술연구소 운영위원
 2000년~2003년 전남대학교 광기술인력교육센터 소장
 2004년~현재 전남대학교 전기공학과 교수
 ※ 관심분야 : 전력전자 응용, 전기기기 시스템



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과(공학사)
 1986년 광운대학교대학원 전기공학과(공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)
 1986년~1991년 한국전력공사
 1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원
 1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수
 2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수
 2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수
 2011년~2011년 University of Utah 방문교수
 ※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.