

ARM Cortex-M4를 이용한 저가형 유도전동기 벡터제어 시스템

김동기⁰, 이승용*, 윤덕용

(주)ABB코리아, *(주)서호전기, 국립공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

A Low-Cost Vector Control System of Induction Motor Using the ARM Cortex-M4

Dong Ki Kim, Seung Yong Lee*, Duck Yong Yoon

ABB Korea Ltd., *Seoho Electric Co., Ltd., Kongju National University

ABSTRACT

본 논문에서는 DSP 및 FPU(Floating Point Unit) 기능을 갖는 ARM계열의 Cortex M4 마이크로컨트롤러를 이용하여 저가형 벡터제어 시스템을 구현하였다. 이것은 최대 168MHz의 높은 클럭으로 동작하면서도 소비전력이 낮고 가격이 저렴하다.

1. 서론

최근 들어 마이크로프로세서 및 전력용 반도체 기술의 급속한 발전에 따라 전동기 구동 시스템 분야에서도 소형화, 모듈화 및 고성능화에 대한 연구개발이 다양하게 이루어지고 있다. 전동기 제어를 위한 마이크로컨트롤러 분야에서는 전동기 구동에 필요한 A/D 컨버터, PWM 출력 등의 모든 주변장치가 하나의 칩에 내장된 DSP(Digital Signal Processor)가 꾸준히 개발되어 왔다.^[1]

종래의 벡터제어 시스템에서는 부동소수점 연산 기능으로 실시간 처리가 가능한 Texas Instruments사의 TMS320F28x 계열의 DSP가 널리 사용되었다. 그러나 ARM에서는 2010년 32비트 고성능 마이크로프로세서인 Cortex M3에 DSP와 FPU 기능이 추가된 Cortex M4를 발표하였고,^[2] 이후 STMicroelectronics사를 비롯한 여러 회사에서 Cortex M4 코어가 탑재된 마이크로컨트롤러를 출시하면서 TMS320F28x 계열의 DSP보다 훨씬 저렴한 가격에 벡터제어 인버터 시스템의 구현이 가능해졌다.

본 논문에서는 냉장고, 에어컨, 세탁기 등과 같은 가전제품에 적용할 수 있는 수만원의 초저가형 유도전동기 벡터제어 시스템을 구현하기 위하여 제어기로서 STMicroelectronics사의 STM32F407VET6을 사용하였고, 인버터 전력회로에는 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하였으며, 벡터제어 알고리즘과 전류제어, 속도제어, SVPWM(Space Vector PWM) 등을 소프트웨어적으로 구현하였다. 이를 60W급 소형 3상 유도전동기에 적용하여 기존의 TMS320F28x 계열의 DSP를 사용한 경우와 유사한 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

2. 하드웨어 구성

2.1 유도전동기 벡터제어 시스템

본 논문에서 구현한 저가형 유도전동기 벡터제어 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 입력단 정류회로에는 다이오드 모듈을 사용하였고, 인버터 회로에는 LS Power Semitech사의 IPM을 사용하였으며, 제어기로는 Cortex M4를 사용하였다.

Cortex M4 소자인 STM32F407VET6은 인버터를 제어하기 위한 PWM 출력신호를 발생하고, A/D 컨버터를 사용하여 전동기 입력전류와 DC 링크전압 및 외부 속도지령을 읽어들이며, 타이머의 Encoder Interface Mode^{[2][3]}를 사용하여 전동기 엔코더 신호를 처리한다.

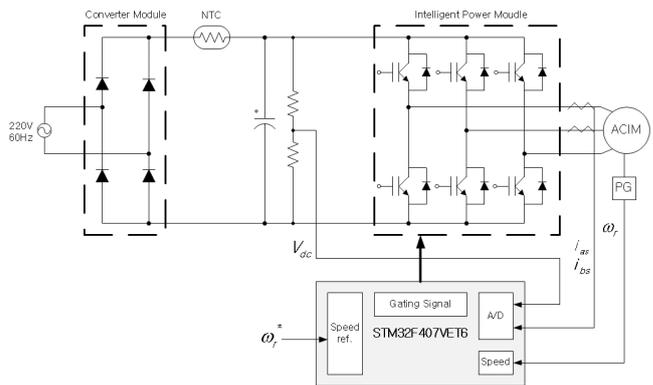


그림 1 유도전동기 벡터제어 시스템 구성
Fig. 1 Vector control system of induction motor

2.2 STM32F407VET6의 특징

본 논문에서 사용된 STM32F407VET6은 32비트 부동소수점 연산기능이 내장된 마이크로컨트롤러로서 전동기 제어에 필요한 대부분의 기능을 가지고 있어서 단일 칩으로 시스템 구성이 가능하다. 표 1은 STM32F407VET6의 사양을 나타낸다.

표 1 STM32F407VET6의 사양
Table 1 Specification of STM32F407VET6

항 목	내 용
CPU	<ul style="list-style-type: none">ARM 32비트 Cortex M4최대 168MHz 시스템 클럭210DMIPSDSP 명령어 및 FPU 기능
메모리	<ul style="list-style-type: none">192KB SRAM512KB 플래시 메모리
주변장치	<ul style="list-style-type: none">3 × 12bit A/D 컨버터12 × 16bit 타이머2 × 32bit 타이머PWM 출력 및 엔코더 인터페이스

3. 벡터제어 시스템의 구현

3.1 공간전압벡터 PWM

본 논문에서는 응답특성이 우수하고 출력전류의 고조파가 적은 SVPWM을 사용하여 3상 인버터를 구동하였다.^[4]

그림 2에서 나타낸 방법으로 샘플링 시간 내에 출력될 두 인접 벡터의 스위칭 시간을 계산하면 다음과 같다.

$$T_1 = \sqrt{3} T_s \frac{|V^*|}{V_{dc}} \sin\left(\frac{\pi}{3} - \gamma\right) \quad (1)$$

$$T_2 = \sqrt{3} T_s \frac{|V^*|}{V_{dc}} \sin \gamma \quad (2)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (3)$$

여기서, 회전각 γ 는 $0 \leq \gamma \leq \pi/3$ 의 범위를 갖는다.

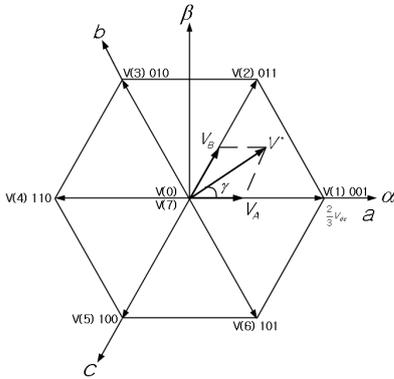


그림 2 인버터의 출력전압 벡터
Fig. 2 Output voltage vector of inverter

Cortex M4 마이크로컨트롤러에서 인버터 구동을 위하여 상보형 PWM 출력이 최대 3채널까지 가능한 16비트 TIM1을 사용하였고, 식(1)~(3)에서 계산된 시간은 카운터의 최대값과 비교하여 PWM 듀티비를 결정한다. 이와 같이 출력된 3상 대칭형 SVPWM 출력파형은 그림 3과 같다.

제어기는 충분히 빠른 실시간 연산이 가능하므로 샘플링 시간 T_s 는 50[μ s]로 하였으며, 인버터의 각 leg를 구성하는 상하의 스위치가 동시에 턴온되어 순간 전원단락이 발생할 수 있으므로^[4] 1[μ s] 정도의 데드타임(Dead Time)을 삽입하였다.

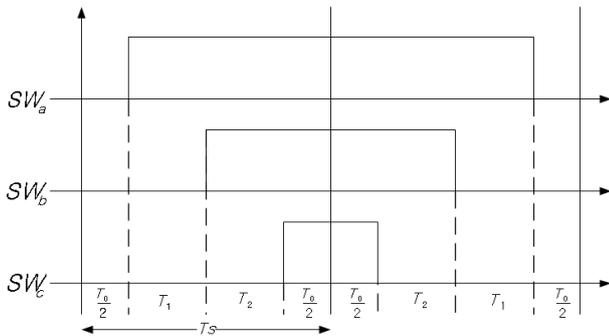


그림 3 공간전압벡터 PWM 출력 파형
Fig. 3 Output waveform of space voltage vector PWM

4. 실험결과

제어 프로그램은 C언어로 작성하였고, 개발 툴로는 예플래이더 ST LINK/V2를 사용하였다. 전동기를 무부하 및 2/3 부하에서 각각 기준속도 1000[rpm]으로 스텝 기동하고, 2[sec] 후에 이를 1000[rpm]으로 역회전시키며, 다시 2[sec] 후에 정지시킨 경우의 실험 결과는 그림 4와 같다. 전동기의 회전속도가 기준속도를 잘 추종하여 제어되는 것을 볼 수 있다.

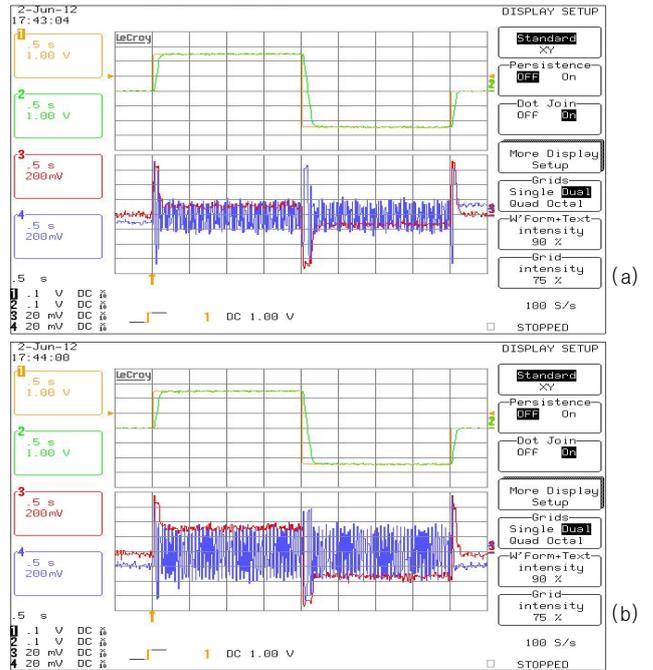


그림 4 전동기의 속도응답 특성
Fig. 4 Speed response characteristics of motor

5. 결론

본 논문에서는 DSP 및 FPU 기능이 내장된 ARM Cortex M4 마이크로컨트롤러를 이용하여 가전제품 등에 사용할 수 있는 저가형 유도전동기 벡터제어 시스템을 구현하였다. 모든 제어 알고리즘은 소프트웨어적으로 처리하였고, 60W급 소형 3상 유도전동기에 적용한 결과 기존의 전동기 제어 전용 DSP와 동등한 수준의 제어 성능을 보였다.

참고 문헌

- [1] 임정규외 2명, "TMS320F2812 DSP와 스마트 파워모듈을 사용한 유도전동기", 전력전자학술대회 논문집, pp. 11~14, 2004.
- [2] STMicroelectronics, "STM32F405xx, STM32F407xx Data Sheet", 2012.
- [3] STMicroelectronics, "RM0090 : STM32F4xx Reference Manual", 2011.
- [4] 윤덕용, 홍순찬, "공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구자석형 동기전동기의 속도제어", 전기학회 논문지, 제43권, 제7호, pp. 1112~1120, 1994.