

Software RDC를 이용한 One-chip DSP BLDC Motor 제어에 관한 연구

김용제*, 조정목, 권경엽(창원대 대학원 제어계측공학과),
조중선(교신저자, 창원대 제어계측공학과)

A study on one-chip DSP BLDC motor control using software RDC

Y. J. Kim, J. M. Cho, K. Y. Kwon(Dept. of Con. and Ins., graduate school of Changwon University),
Joongseon Joh(Dept. of Control and Instrumentation Eng., Changwon University)

ABSTRACT

The Resolver usually used in industry is the absolute angle analog sensor that must be in order to driving BLDC (brushless DC) motor, and it needs RDC(Resolver-to-Digital converter) for changing the output signal to digital to be applied to the SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) algorithm. Commonly used S/W RDC needs trigonometric function. What it takes a lot of calculation time of processor is gotten at weak point.

In this paper, S/W RDC is realized except trigonometric functions as a result of feedback resolver outputs after filtering using FIR filter. thus, processing time is reduced. So, One-chip DSP Controller operating the Vector Control, RDC, and SVPWM can be designed.

Key Words : BLDC, Resolver(레졸버), RDC, DSP, SVPWM

1. 서론

반도체 산업의 중추인 프로세서는 기술의 비약적인 발전과 함께 다양한 형태와 용도로 생산되고 있다. 이 중 모터 제어에 적합한 DSP는 제어를 위한 제한 신호 검출용의 ADC와 모터 구동신호 출력에 적합한 PWM신호 모듈, 그리고 엔코더 신호를 받아 처리할 수 있는 QEP(Quadrature Encoder Pulse) 회로등 다양한 On-chip Peripheral Module을 내장하고 있으며, CPU 또는 컴퓨터와의 통신기능도 포함되어 넉넉한 메모리를 갖춘 하나의 칩으로 모터의 상황을 판단 및 제어, 그리고 구동하기에 충분한 기능을 가지고 있다.

BLDC 모터의 회전자 위치 검출에 주로 사용되는 레졸버의 경우 매우 간단하고 견고한 구조로 되어 있어 고속에서도 안정된 출력 신호를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 환경 영향에 대한 신뢰성 및 내구성이 여타의 센서보다 상대적으로 우수하지만, 고가의 RDC 칩을 추가로 사용해야하는 단점을 가지고 있다. 고가의 RDC 칩의 대안으로 떠오른 것이 프로세서를 이용한 소프트웨어 RDC이다. 현재

생산되는 DSP중에는 성능이 우수하고 가격이 RDC 칩에 비해 상당히 저렴한 제품도 있어 DSP를 이용한 S/W RDC 구현이 여러모로 장점을 가진다.

DSP를 사용하여 RDC를 구현할 경우 ADC를 활용하여 얻은 레졸버 출력값으로부터 회전자의 위치와 속도를 구하기 위한 연산을 주기적으로 고속 반복 수행해야하므로, CPU의 부하가 많이 증가하여 저가의 칩으로 구현할 경우 모터 출력 파형 연산에 필요한 프로세싱 시간과 리소스 확보가 어렵게 된다. 하지만, CPU의 PWM출력과 간단한 아날로그 회로를 통해 레졸버의 기준 정현파를 생성하므로 일정한 시점에서의 ADC수행이 가능해 레졸버의 출력신호에서 따로 기준 정현파 신호를 복조할 필요 없이 복조한 효과를 얻을 수 있다.

PWM방식은 이전에는 히스테리시스 전류제어방식과 삼각파 비교방식이 많이 사용되었으나 최근에는 SVPWM 방식을 주로 사용하고 있다. SVPWM의 경우 알고리즘이 복잡하여 많은 연산을 수행해야 하나 상대적으로 만족스런 성능을 보여준다. 또한 SVPWM 알고리즘은 고속의 DSP를 적용함으로써 구현 가능하므로 논문에서 제시한 시스템에서는 가

장 적합한 방식이라 할 수 있다.

본 논문에서는 SVPWM 방식을 기존의 벡터구분에 의한 벡터계산 방식을 적용하지 않고, 상대적으로 연산량이 적은 Min-Max방식[1]을 사용하였으며 제어 방식은 가장 보편적인 PID 제어방식을 적용하여, 속도를 컨트롤 할 수 있도록 하였다.

2. Software Resolver-to-Digital Converter

2.1 Software RDC 기법

레졸버는 기준입력신호와 회전자의 위치로 변조된 출력 신호를 갖는 회전변압기 형태의 아날로그 센서로, 식(1)과 같은 형태의 기준입력신호에 대해 식(2)와 식(3)과 같은 출력신호를 가진다.

$$y = u_0 \cdot \sin \omega_{ref} t \quad (1)$$

$$y_1 = a \cdot k \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \omega_{ref} t \quad (2)$$

$$u_2 = u_0 \cdot k \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \omega_{ref} t \quad (3)$$

여기서 u , a , y_1 , y_2 , k , ε , ω_{ref} 는 각각 기준입력신호, 진폭, $\sin \theta$ 출력, $\cos \theta$ 출력, 레졸버 이득, 절대각, 기준주파수 이다.

레졸버의 출력신호로부터 회전자 위치각을 얻어내는 S/W RDC 기법은 복조를 이용하는 방법과 삼각함수(atan)를 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다.

그럼 1과 같이 복조를 이용하는 방법은 레졸버의 출력 신호를 레졸버에 입력되는 신호에서 얻어지는 $\sin \theta$ 와 $\cos \theta$ 에 제한 신호를 곱하여 PI제어기를 이용해 회전자 위치각을 구하는 방법이다[2]. 그럼에서 ϕ 는 입력신호 θ 와 구분하기 위한 제한 신호이다.

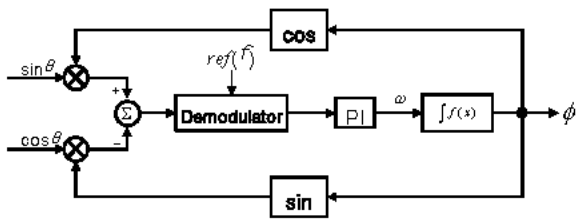


Fig. 1 Block diagram of S/W RDC using demodulation

삼각함수를 이용한 S/W RDC 기법은 식 (4)와 같이 레졸버의 두 출력 y_1 과 y_2 를 활용하여 $\tan \varepsilon$ 을 구한 뒤 atan 함수를 이용하여 회전자 위치각을 얻어내는 기법으로 그림 2와 같이 구현된다[3].

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{u_0 \cdot k \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \omega_{ref} t}{u_0 \cdot k \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \omega_{ref} t} = \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} = \tan \varepsilon \quad (4)$$

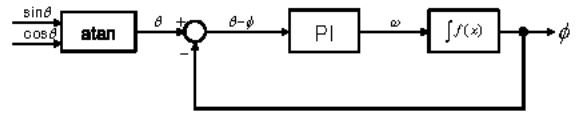


Fig. 2 Block diagram of S/W RDC using trigonometric function

2.2 개선된 Software RDC

일반적인 S/W RDC기법은 삼각함수 계산이 요구되므로 부동소수점 연산이 H/W적으로 이루어지지 않는 저가형 프로세서를 사용하게 되면 삼각함수 연산을 포함한 RD변환에 많은 시간이 소모되어 One-chip Controller를 구현하는데 많은 어려움이 있다.

본 논문에서 삼각함수 연산을 사용하지 않기 위해 제안한 방법은 $\sin \theta$ 와 $\cos \theta$ 출력을 바로 적용하는 방법으로 속도값을 식(5)의 삼각함수 미분값을 이용하여 구한다. 삼각함수의 시간에 대한 미분식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta \sin \theta}{\Delta t} = \frac{\Delta \sin \theta}{\Delta \theta} \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \cos \theta \cdot \omega \quad (5)$$

$$\frac{\Delta \cos \theta}{\Delta t} = \frac{\Delta \cos \theta}{\Delta \theta} \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = -\sin \theta \cdot \omega$$

따라서 식 (5)를 각각 $\cos \theta$ 와 $-\sin \theta$ 로 나누어주면 속도를 구할 수 있다. 단, $\sin \theta$ 와 $\cos \theta$ 가 '0'일 경우가 있으므로 적당한 필터링이 필요하다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 세 가지 경우로 나누어 적용하였다.

Case 1 : $\sin \theta$ 와 $\cos \theta$ 모두 '0'이 아닌 경우

$$\omega = \left(\frac{d}{dt} \sin \theta / \cos \theta - \frac{d}{dt} \cos \theta / \sin \theta \right) / 2 \quad (6)$$

Case 2 : $\sin \theta$ 가 '0'일 경우

$$\omega = \frac{d}{dt} \sin \theta / \cos \theta \quad (7)$$

Case 3 : $\cos \theta$ 가 '0'일 경우

$$\omega = -\frac{d}{dt} \cos \theta / \sin \theta \quad (8)$$

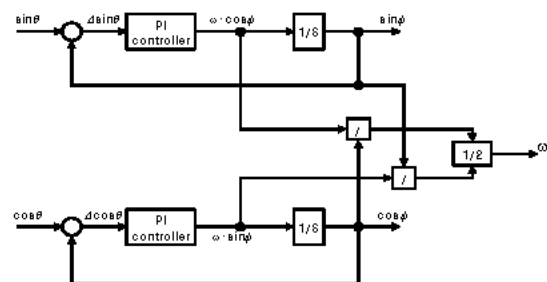


Fig. 3 Block diagram of proposed S/W RDC

3. One-chip DSP를 이용한 BLDC 모터제어기

3.1 Hardware 구성

본 논문에서 제안한 개선된 S/W RDC 기법을 적용한 One-chip DSP 제어기를 구현하기 위해 그림 4와 같이 전체 시스템을 구성하였으며 시험에 사용된 시스템은 그림 5와 같다.

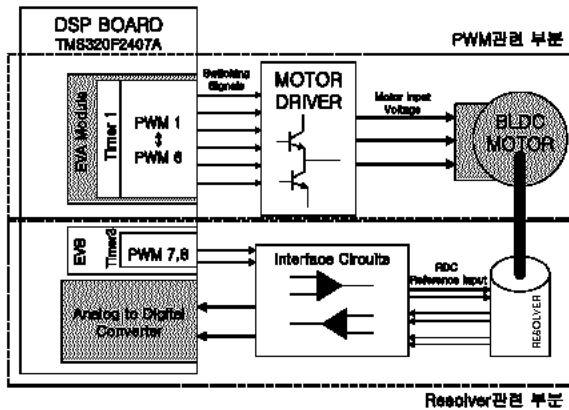


Fig. 4 BLDC control system organization

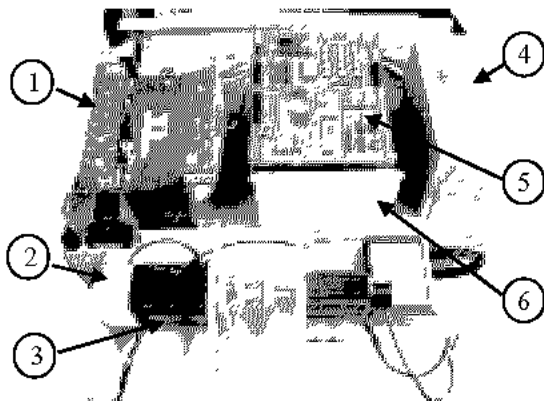


Fig. 5 BLDC Motor Control System
 ①Transformer ②Resolver ③BLDC Motor
 ④Regulator ⑤DSP Board ⑥Inverter

3.1.1 DSP(TMS320LF2407)

TMS320LF2407는 TI사에서 개발한 모터구동에 적합한 서보모터 제어용 DSP로 가장 널리 사용되고 있으며, 40MIPS의 고속 연산이 가능한 고정소수점 연산 방식의 프로세서로 모터 제어에 적합하도록 PWM 출력과 16채널의 10bit ADC를 내장하고 있어 One-chip DSP 제어기로 선정하였다.

3.1.2 Resolver Interface Circuit

그림 6은 DSP 제어기와 레졸버 사이의 인터페이스 회로로서, DSP 제어기의 PWM 출력으로부터 레졸버의 기준입력신호를 생성하기 위한 필터와 레졸버의 출력을 DSP 제어기의 ADC 입력으로 사용하기 위해

필요한 Conditioning 회로로 구성되어 있다[4].

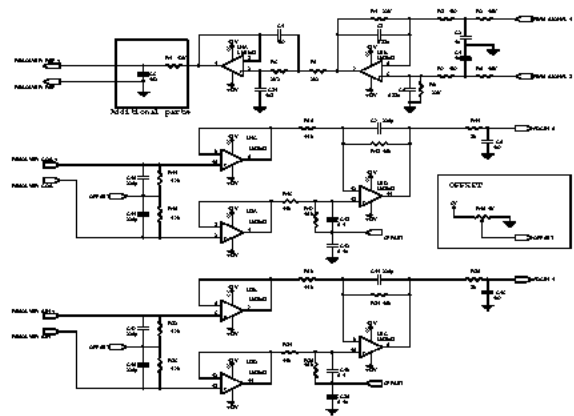


Fig. 6 RDC signal conditioner circuit

3.2 Software 구성

레졸버 입력 파형 생성에 쓰이는 PWM과 모터 출력 파형에 쓰일 PWM을 같은 주파수로 설정하고 Timer의 비교기를 통해 ADC를 수행하여 RDC 연산 및 SVPWM이 수행되도록 하고 연산이 수행되지 않는 동안에 속도와 제어 Loop를 계산하도록 그림 8과 같이 프로그램 하였다. S/W RDC와 BLDC 모터 속도 제어를 포함한 전체 프로그램의 Flowchart는 그림 9와 같다.

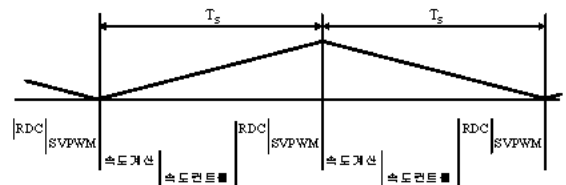


Fig. 8 Program architecture

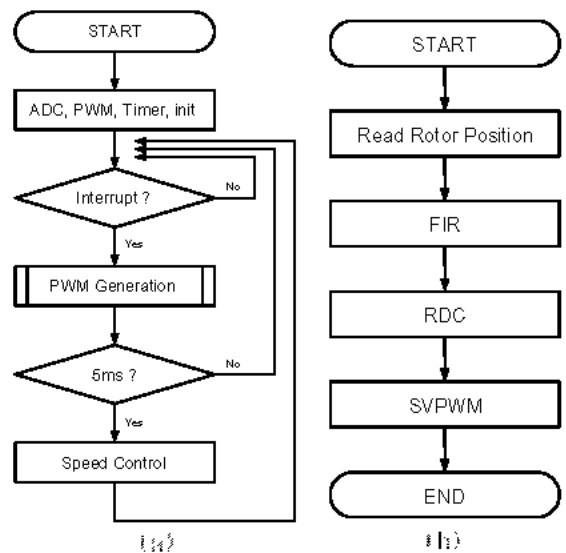


Fig. 9 Flowchart (a) Main routine (b) Subroutine

3.3 실험결과

그림 7은 DSP 제어기로부터 출력되는 PWM 출력 파형과 인터페이스 회로를 통해 생성된 레졸버 기준 입력신호이다.

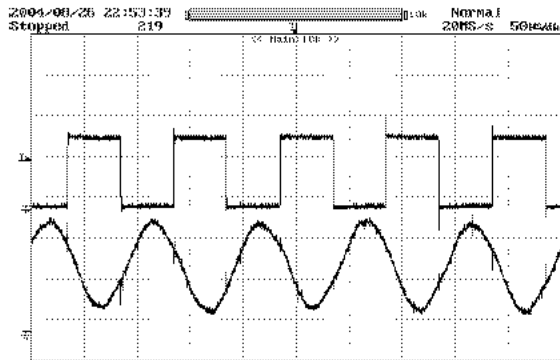


Fig. 7 PWM output and resolver reference input

표 1은 BLDC 모터제어를 위한 전체 프로그램 중 S/W RDC 부분에서 사용된 연산량을 기존의 방법들과 비교한 결과로써, 제안된 방법이 프로그램에서 많은 리소스를 차지하는 삼각함수 연산 없이 수행됨을 보여준다.

Table 1 Comparison of computation

	기존 방법	제안 방법	비교 방법
삼각함수	○	○	○
cos, sin	○	○	○
곱셈	○	○	○
□	○	○	○
□	○	○	○

그림 10은 각각 S/W RDC의 출력을 이용하여 SVPWM을 수행했을 때의 회전자 각도에 대한 PWM 출력으로써 상당히 만족스런 결과를 보여준다.

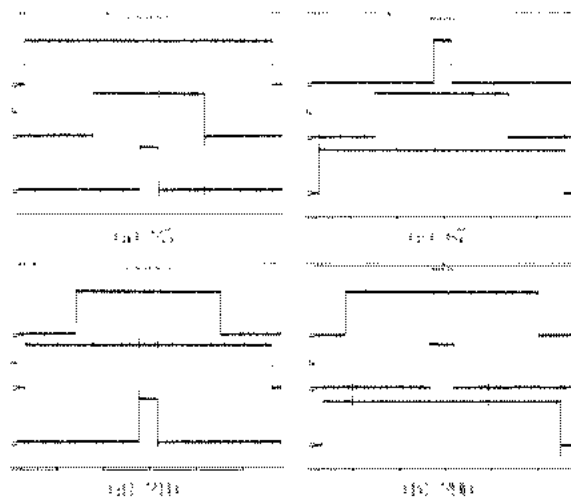


Fig. 10 SVPWM Output

설계한 모터 제어기를 이용하여 속도제어를 실험

한 결과 그림 11과 같이 계단함수에 대해 일정한 속도에 수렴하는 결과를 얻을 수 있었다.



Fig. 11 Step response

4. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 BLDC 모터제어를 위해 S/W RDC를 이용한 One-chip DSP 제어기를 구현 및 BLDC 모터 구동시험을 수행하였다.

실험결과를 통해 개선된 S/W RDC 기법이 삼각함수 없이 구현되어 범용 DSP인 TMS320LF2407A에서도 프로세서의 충분한 리소스를 확보할 수 있어 BLDC 모터를 S/W RDC 및 SVPWM, 그리고 속도제어 알고리즘까지 포함한 One-chip DSP 제어기로 제어 가능함을 확인하였다.

향후 제안된 S/W RDC기법을 적용한 One-chip DSP 제어기를 이용해 다이내모미터와 능동 토크 시뮬레이터의 구현에 관한 연구를 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 김준석, 설승기, "공간 전압 벡터 PWM의 새로운 기법," 전기학회 논문지, 제44권, 7호, pp. 865-874, 1995.
2. Choong-Hyuk Yim, In-Joong Ha, Myoung-Sam Ko, "A Resolver to Digital Conversion Method for Fast Tracking," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 39, NO. 5, October 1992 Pages:369 - 378
3. Attaianesi, C., Tomasso, G., De Bonis, D., "A low cost resolver-to-digital converter," Electric Machines and Drives Conference, IEEE, 2001 Pages:917 - 921
4. Martin Staebler, "TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed," Texas Instrument Application Note, SPRA 605 February 2000.