

디지털신호처리를 이용한 레졸버구동 알고리즘 구현

전찬용[†], 오병구*, 목형수**, 이진우***

[†]건국대 전기공학부 석사, *에너파워텍 부장, **건국대 전기공학부 교수,

***두원공대 메카트로닉스과 부교수

Development of a Resolver Drive Algorithm Using Digital Signal Processor

Chan-Yong Zun, Byoung-Goo Oh, Hyung-Soo Mok, Jin-Woo Lee

1. 서론

영구자석형 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor, 이하 PMSM)의 벡터제어와 같이 자극의 위치를 기준으로 제어를 하는 경우 회전자의 위치 정보는 매우 중요하며, 최근 레졸버를 이용하여 센싱하는 응용분야가 늘어나고 있다.^{[1][3]}

레졸버 센서에서 출력되는 신호를 절대각 정보로 변환시켜 주는 알고리즘으로는 삼각법, 1개의 이력신호를 활용하는 방법^{[6][8]}, DFT를 이용하는 방법^[9], 관측기를 이용하는 방법,^{[7][10][11][12]} 등이 있는데 이중 관측기 기반의 알고리즘이 가장 널리 사용되고 있다. 또한 이러한 알고리즘들은 다양한 형태로 구현되는데 순수 하드웨어에 의한 방법^[5], FPGA에 의한 방법^[4] 및 디지털 프로세서를 이용하는 방법^{[16][17][18][19][20][21][22]} 등이 있다.

레졸버의 사용에 있어 턴수비 차이나 불평형 여자신호 등으로 인한 회전자의 위치각 정보 왜곡은 모터제어 시 출력 토크 리플로 나타나는 문제점이 있기 때문에^[1] 이러한 입력신호 왜곡을 보상하고자 하는 방법^[13]이 제안되기도 하였다.

본 논문에서는 사인-코사인 신호에 대한 보상 알고리즘을 제안하여 신호왜곡에 따른 절대각 오차를 최소화 하였고, 일반적으로 사용되는 Resolver to Digital Converter칩(이하 R/D Converter)의 기능을 모터 제어용으로 사용되는 디지털 프로세서의 잉여자원을 활용하여 구현하였다. 이로써 제어보드 회로를 간소화와 저가격화로 구성할 수 있음을 확인하였다.

일반적인 모터제어에 있어 절대각 정보를 구하는 알고리즘의 프로세서 활용은 R/D Converter를 대체 할 수 있음을 모의 실험 및 모터 구동 실험을 통해서 확인하였다.

2. 위치추정 알고리즘

2.1 삼각법

레졸버의 사인-코사인 출력으로부터 절대각을 산출하는 가장 기본적인 방법으로 식 (1)의 삼각함수 법칙을 이용한다.

$$\hat{\theta} = \text{ATAN}\left(\frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)}\right) \quad (1)$$

2.2 Angle Tracking Observer

Angle Tracking Observer(이하 ATO) 방식은 시스템 구조적으로 2차 저역통과 필터 특성을 가지고 있어 외란에 강인하며, 추가적인 알고리즘 없이 각속도 정보를 얻을 수 있고 간단

한 구조로 구현이 용이하기 때문에 현재 가장 많이 사용되는 알고리즘이다.^[18]

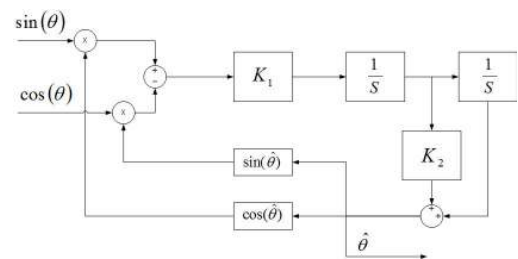


그림 1 Angle Tracking Observer의 블록도

ATO의 전달함수는 식 (2)와 같이 표현될 수 있는데 여기서 ω_n 은 시스템의 공진주파수, ζ 는 감쇄율을 나타낸다.

$$H(s) = \frac{\omega_n^2(1 + \frac{2\zeta}{\omega_n}s)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

3. 사인-코사인 신호보상

본 논문에서 제안하고자 하는 알고리즘은 복소 공간으로 표현된 사인과 코사인의 절대 크기(식 3의 M)는 일정해야 하는 점을 이용하였다.

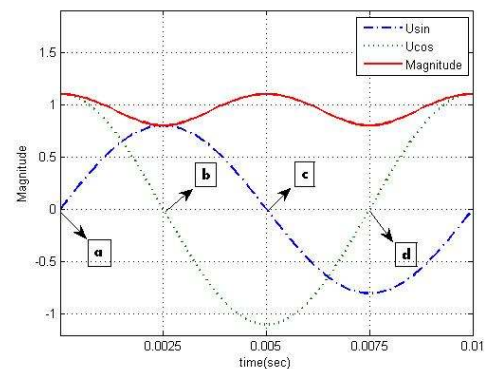


그림 2 사인-코사인의 zero-crossing 지점.

$$M = \sqrt{(A \times \sin\theta)^2 + (B \times \cos\theta)^2} \quad (3)$$

그림 2와 같은 a, b, c, d 지점을 zero-crossing 기법을 활용하여 검출하였으며, 얻어진 이득을 바로 적용하였을 시 순간적으로 파형이 변하는 것을 방지하고자 일정한 값을 가지고 천천히 이득값을 적용하는 방식을 취하였다.

표 2 Zero-crossing 지점별 이득.

지점	$\sin\theta$	$\cos\theta$	M	이득
a	0	1	B	Cos 이득 = M/B
b	1	0	A	Sin 이득 = M/A
c	0	-1	B	Cos 이득 = M/B
d	-1	0	A	Sin 이득 = M/A

4. 시뮬레이션 및 실험

4.1 위치추정 알고리즘

그림 3은 삼각법과 ATO방법에 대한 가속 구동시의 특성에 대한 모의실험 결과이다. 시험에 사용된 입력신호는 0~1초에 걸쳐 0~20Hz로 가속되는 사인-코사인 파형을 인가 하였다.

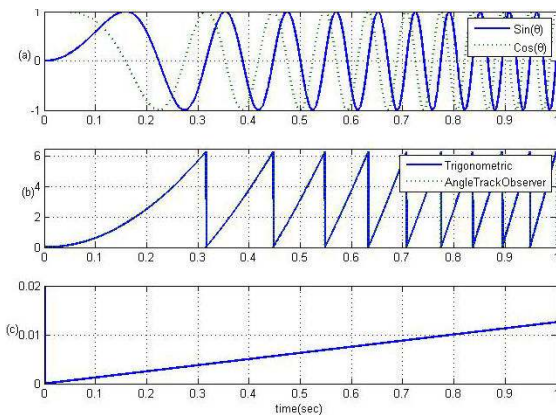


그림 3 알고리즘별 가속특성 (a)가속입력, (b)절대각, (c)절대각 차이.

삼각법에 의한 방법은 알고리즘 적으로 지연을 포함하고 있지 않은 반면 ATO 방법은 지연을 포함하고 있어 둘 사이의 절대각은 그림 3의 (c)와 같이 차이를 보이고 있다.

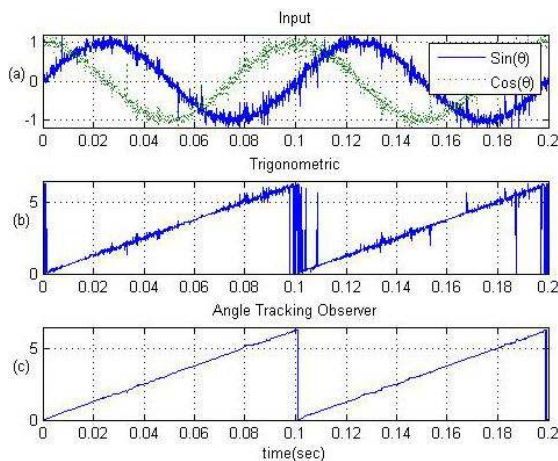


그림 4 알고리즘별 잡음특성 (a)잡음이 섞인 입력, (b)Trigonometric 방법, (c)ATO 방법.

그림 4는 잡음특성에 대한 모의실험 결과로 입력 신호는 사인-코사인에 7%의 크기를 가지는 White noise를 인가하여 사용 하였다. 삼각법은 전처리 필터가 없어 인가되는 잡음의 영향을 크게 받는 반면, ATO의 경우 저역통과필터의 특성을 가지고 있어 외란에 강인함을 알 수 있다.

4.2 사인-코사인 신호보상

그림 5는 사인-코사인 크기 불평형에 따른 모의실험 결과로 크기보상 알고리즘 적용 전 파형은 오차가 주기적으로 반복되는 반면 알고리즘 적용 후 오차가 서서히 감소됨을 알 수 있다.

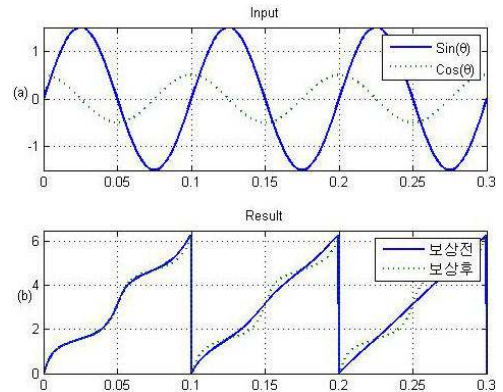


그림 5 사인-코사인 신호보상.(a)크기 불평형 입력, (b)보상 전/후 결과.

실제 모터구동에 의한 실험은 레졸버가 장착된 PMSM 모터에 별도의 광학식 엔코더를 부착하여 엔코더를 이용한 속도제어로 실시하였으며, ATO 알고리즘에는 본 논문에서 제안한 사인-코사인 신호보상 알고리즘을 적용하였다. 또한 사인-코사인 신호보상 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 레졸버 사인신호 출력단에 임의의 저항을 병렬로 부착하였다. 마지막으로 각각의 알고리즘과 상용 R/D Converter를 비교하기 위해 Analog Devices사의 AD2S1200 칩을 사용하였다.

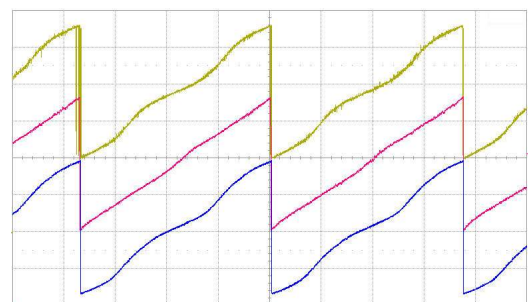


그림 6 사인-코사인 신호 불평형 시 결과파형.(상단 : 삼각법, 중간 : ATO, 하단 : R/D Converter)

그림 6은 500RPM 정속 운전시에 대한 결과로 삼각법의 경우 잡음에 민감하여 절대각 정보에 잡음이 관측되고 있으며, R/D Converter의 결과와 함께 주기적으로 오차가 발생됨을 알 수 있다. 반면 제안된 보상 알고리즘이 적용된 ATO의 경우 주기적인 오차를 효과적으로 제거함을 알 수 있다.

그림 7은 가감속 운전에 대한 특성으로 가감속 시에도 정속 운전시와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

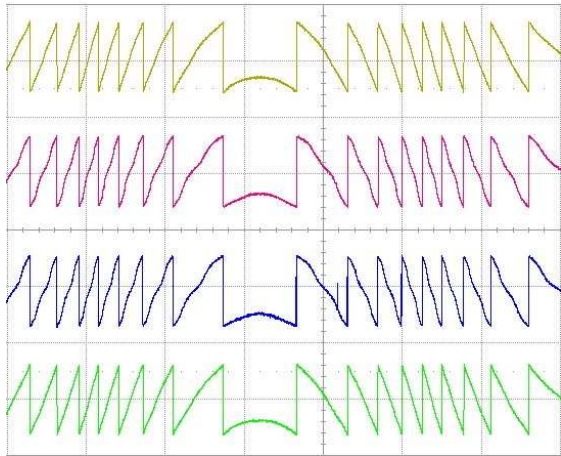


그림 7 알고리즘별 가감속 특성. (상단 : 엔코더, 중상단 : R/D Converter, 중하단 : 삼각법, 하단 : AT0)

4. 결론

삼각법을 이용한 방식의 경우 외란의 영향을 최소화하려면 추가의 전처리 필터가 필수적이며, 회전체의 각속도 값을 산출하기 위한 별도의 알고리즘이 필요한 반면 관측기 기반의 방식은 저역통과 필터의 특성을 지니고 있어 외란에 강한 특성을 지니고 있다. 또한 별도의 알고리즘 없이 속도에 대한 정보를 부가적으로 얻을 수 있는 이점이 있다. 사인-코사인의 크기를 활용한 사인-코사인 신호 보상 방법은 프로세서에 연산 부하를 크게 주지 않으면서 매우 효과적으로 입력신호를 보상하여 외란에 의한 절대각 정보의 오차를 최소화하여 줌을 알 수 있었다.

이 논문은 건국대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

[1] 목형수, 이정민, 최규하, 김상훈, 조영훈, "PMSM의 벡터제어시 위치센서 오차에 의해 발생하는 토크 리플에 대한 해석과 그 보상방법", 전력전자학회 논문지, 제12권, 제6호, pp. 449~454, 2007.

[2] DUANE C. HANSELMAN, "Resolver Signal Requirements for High Accuracy Resolver-to-Digital Conversion", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 31, No. 6, Dec. 1990.

[3] Weera Kaewjinda1, Mongkol Konghirun, "Vector Control Drive of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Resolver Sensor", ECTI Transactions On Electronics Eng., Electronics, and Communications Vol.5, No.1 Feb. 2007.

[4] Lahoucine Idkhajine, Eric Monmasson, Mohamed Wissem Naouar, Antonio Prata, Kamel Bouallaga, "Fully Integrated FPGA-Based Controller for Synchronous Motor Drive", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 10, Oct. 2009.

[5] Lazhar Ben-Brahim, Mohieddine Benammar, Mohd A. Alhamadi, "A Resolver Angle Estimator Based on Its

Excitation Signal", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 2, Feb. 2009.

[6] 김명환, 김장목, 김철우, "정현파와 엔코더를 이용한 정밀위치 측정방법에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제9권, 제5호, pp. 485~490, 2004.

[7] George Ellis, Jens Ohno Kraha, "Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems", PCIM 2001, Nuremberg.

[8] 김주찬, 김장목, 김철우, 최철, 조한익, "정현파와 엔코더를 이용한 서보전동기의 초정밀 위치 제어에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, pp. 237~239, 2005.

[9] 이사영, 황락훈, 김화수, 김길동, 이한민, 이장무, 최기수, 엄주경, "DFT에 의한 회전자 위치 검출 방법을 사용한 레졸버 인터페이스", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 16~18, 2008.

[10] Aengus Murray, Bruce Hare, Akhiro Hirao, "Resolver Position Sensing System With Integrated Fault Detection for Automotive Applications", Proceedings of IEEE, vol. 2, pp. 864~869, 2002.

[11] Reza Hoseinnezhad, Peter Harding, "A Novel Hybrid Angle Tracking Observer for Resolver to Digital Conversion", Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005 Seville, Spain, December 12-15, 2005.

[12] 이사영, 김영춘, 김길동, 이한민, 이장무, "회전자 위치와 속도검출을 위한 레졸버 인터페이스", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 18~20, 2007.

[13] 권영화, 황선환, 김장목, "영구자석 동기 전동기의 레졸버 신호 오차 보상에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, pp. 22~24, 2008.

[14] Takashi Nakahara, Tadashi Higo, "Development of Variable Reluctance(VR) Resolver" No. 29, Feb. 2006 Japan Aviation Electronics Industry, Ltd.

[15] Analog Devices, "12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator", Analog Devices, Rev. 0, 2003.

[16] Analog Devices, "Resolver-to-digital conversion with the ADMC401", Analog Devices, AN401-22, 2000.

[17] Tamagawa Seiki, "Smartcoder(AU6802N1) Specifications", Tamagawa Seiki, 2003.

[18] Freescale Semiconductor, "56F80x Resolver Driver and Hardware Interface", Freescale Semiconductor, AN1942, Rev. 1, 2005.

[19] Freescale Semiconductor, "56F8300 Hybrid Controller Used in Control of Electro-Mechanical Brake", Freescale Semiconductor, AN1999, Rev. 0, 2004.

[20] Freescale Semiconductor, "Using the Resolver Interface eTPU Function", Freescale Semiconductor, AN3943, Rev. 0, 2009.

[21] Texas Instruments, "TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed", Texas Instruments, SPRA605, 2000.

[22] Texas Instruments, "Using the AMC1210 in Resolver Motor Control Systems", Texas Instruments, SBAA144, 2006.