

자동차 계기용 소형 스텝모터 및 미소 스텝 구동 IC 설계에 관한 연구

이종배*, 성하경*, 정중기*, 류세현*, 임준홍*
전자품연구원*, 한양대학교*

A study on the design of a small step motor and micro step driving IC for an automotive instrument

J.B. Lee*, H.K. Sung*, J.K. Chung*, S.H. Rhyu*, J.H. Lim*
Korea Electronics Technology Institute(KETI)*, Hanyang University*

Abstract

In our research, we designed a small step motor with 2-phase structure and a micro step driving IC, which is used in an automotive instrument. The step motor for the automotive instrument has the better advantages than a cross coil type motor. These advantages are the characteristics with a good linearity, a fine accuracy, a low noise and so on.

1. 서 론

최근 전자정보통신산업의 발전으로 인하여 컴퓨터, 멀티미디어, 통신기기의 신호체계가 아날로그 신호체계에 서 디지털 신호체계의로 변환이 가속되어왔다. 이러한 추세로 인하여 구동모터중 스텝 모터는 핵심 구동원으로 서 수요의 폭이 증가하고 있다. 이것은 스텝 모터가 외부 입력펄스 신호의 주파수에 비례한 회전속도를 얻을 수 있는 개루프 제어가 가능하고, 디지털신호로의 제어에 따른 속도제어 범위가 넓으며, 또한 정·역전, 정지, 기동 및 가변속 운전이 용이하고 높은 응답 특성을 갖기 때문이다.

최근에는 자동차 계기용으로 기존의 Cross Coil형태 보다 우수한 장점을 가지는 스텝 모터를 채용하는 추세에 있다. 주로 영구자석형을 사용하는 스텝모터는 기존의 방식인 Cross Coil형태에 비해서 응답성이 우수하고, 선형성이 보장되며, 토크 및 내진성이 훨씬 우수한 특성을 가지고 있다. 더욱 정밀제어와 소음을 줄이기 위하여 스텝모터를 구동하는데 있어서 미소 스텝 제어방식인 마이크로 스텝 구동을 사용하고 또한 이를 자동차에 적용하기 위해서는 One Chip형태로 구동 IC를 설계하여야 한다. 보통 자동차 계기용으로 사용되는 스텝모터는 유량, 온도, RPM, 속도로 4개가 사용되어진다. 본 연구에서는 이 용도로 사용되는 소형 스텝 모터를 제작에 앞서 정확한 해석을 하고자 수치해석 기법의 일환인 유한요소법(Finite Element Method)를 적용하여 영구자석을 포함하는 2차원 해석 및 설계를 하였다. 그리고 이를 기초로 하여 4개의 스텝모터를 마이크로 스텝 방식으로 동시에 구동할 수 있는 IC를 설계하였다.

2. 자동차 계기용 스텝 모터의 설계 및 해석

표 1은 기어박스를 갖는 자동차 계기용 스텝 모터의 사양을 나타내며, 그림 1은 이에 대한 구조도를 간단히 나타내었다. 본 연구에서 설계한 스테이터 직경은 20(mm)이며, 모터의 총 외경은 30(mm), 두께는 9(mm)이다. 일반적으로 자동차 산업시장에서는 모든 구동기기에 있어서 작은 크기, 적은 중량, 높은 효율을 요구한다. 따라서, 본 연구에서는 요구되는 토크를 만족시키면서 최소의 크기를 갖는 모터를 설계하였다.

[표 1] 2상 PM형 스텝모터의 사양

항 목	사 양	단 위
극 수	4	poles
스테이터 내경	4.4	mm
마그네트 외경	4	mm
권선수	2400	turns
기어비	90 : 1	-
구동전류	15/phase	mA
토크	12(at 200pps)	g.cm

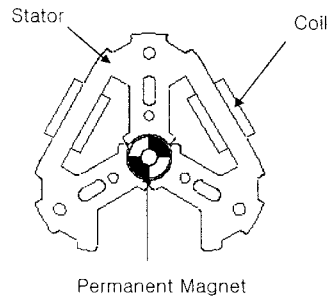


그림 1. 2상 스텝 모터의 구조

다음 그림 2~4는 소형 스텝 모터를 한 회전당 12스텝으로 구동할 경우, 200(pps)의 입력전압을 구동원으로 하고, 2차원 시간차분 유한요소법을 이용하여 해석한 요소 분할도, 자속선도, 운전 토크 및 상전류 특성에 대한 각각의 해석결과를 보여준다[1]. 이로부터 실제 모터 구동시에 발생하는 토크크기 및 리플, 정격 운전시의 전류등의 실제값들을 예측할 수 있으며, 설계사양과의 타당성을 비교하여 각각의 파라미터를 재설계 할 수 있다.

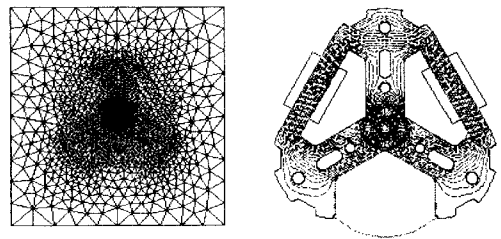


그림 2. 요소 분할도 및 200pps 구동시 자속선도

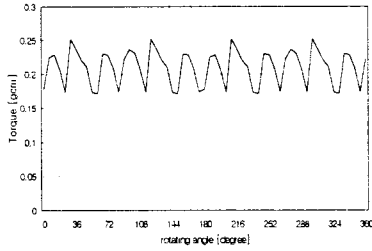


그림 3. 200pps에서의 토크 특성

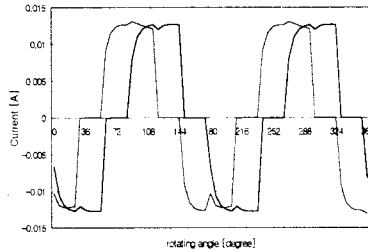
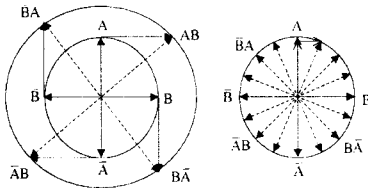


그림 4. 200pps에서의 전류 특성

3. 마이크로 스텝 방식의 구동 IC 설계

3.1 마이크로 스텝 방식의 구동

최근에 스텝 모터의 구동 방식으로서 마이크로 스텝 구동 방식을 많이 채택하고 있다. 이것은 스텝 모터의 기본 스텝각을 세분화 하여, 미소각 제어를 할 수 있고 토크 리플이 적어 저진동, 저소음의 구동을 할 수 있기 때문이다.



(a) 1.2, 1-2상 여자 때 (b) 4분할 마이크로 스텝인 경우

그림 5. 2상 모터의 토크 벡터도

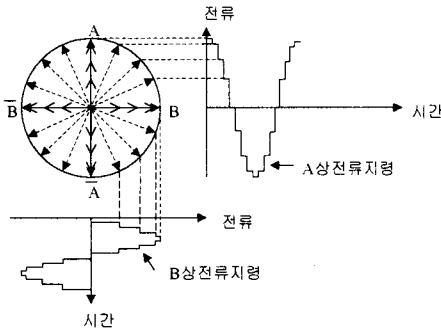


그림 6. 전류지령과 토크 벡터의 관계

마이크로 스텝 구동방식은 각 상의 권선에 흐르는 여

자전류를 정현파적으로 변화시켜 기본 스텝각의 중간영역에서도 위치제어가 가능한 구동방식이다[2]. 그림 5는 2상모터의 4분할 마이크로 스텝 여자방식에서 토크 벡터도를 나타낸다. 그림 5를 보아 알 수 있듯이 마이크로 스텝 구동방식은 미소의 스텝각을 얻는 동시에 각 여자때의 합성 토크가 한상 여자시의 토크 값과 같도록 여자전류를 제어한다. 이로부터, 2상 권선의 여자전류는 일반적으로 정전류 구동방식을 사용하여 그림 6과 같은 관계를 유지하면서 정현파상으로 제어된다.

3.2 자동차 계기판의 구동시스템 구성

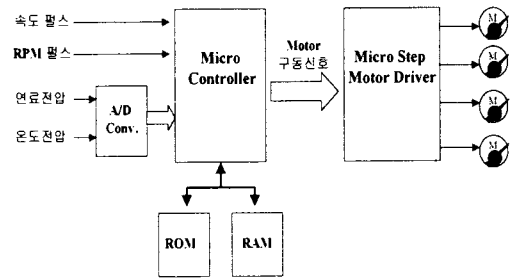


그림 7. 자동차 계기용 스텝모터의 구동시스템

본 모터를 자동차 계기용으로 사용할 때 각 지시계의 입력은 속도와 RPM은 펄스, 온도와 연료는 전압의 형태이기 때문에 일반적으로 그림 7과 같은 구조로 구동을 하게 된다. 이와 같은 시스템은 제품화 단계에서 자동차 계기판 회사에서 구현을 하게 되고 본 논문에서는 구동 IC를 연구하고 위와 같은 시스템은 실험용 보드를 이용하여 검증하는 단계로 사용하였다. 본 연구에서 설계한 구동 IC는 마이크로 컨트롤러와 인터페이스를 5Bit방식으로 하기 때문에 기본적인 구동 데이터는 5Bit이며, 마이크로 컨트롤러는 8Bit형인 AT89C51을 사용하였다[3][4].

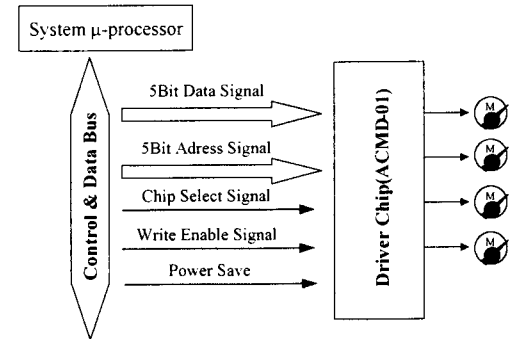


그림 8. 마이크로 컨트롤러와의 인터페이스

그림 4는 마이크로 컨트롤러와 본 논문에서 연구한 구동 IC와의 인터페이스 방법을 설명한 것이다. 마이크로 컨트롤러와의 신호는 모터의 각 상에 흘러줄 전류값인 5Bit의 데이터 신호, 각 모터의 상을 선택을 위한 어드레스 신호, IC의 제어신호인 CS, WR신호가 있고 마지막으로 Power Save신호가 있다. 연속적인 구동 신호가 없을 때 한 모터에는 연속적인 전류가 흐르게 되는데 이는 필요없는 전력소모로써 작용을 하게 된다. 본 논문에서는 이럴 때 사용할 수 있게 Power Save모드를 고안하였는데 이 신호를 이용하여 현재 전류의 30% 전류 소모를 줄일 수 있게 설계하였다.

3.2 제안된 마이크로 스텝 구동방법

앞에서 설명한 것처럼 마이크로 스텝 방식으로 스텝모터를 구동하기 위해서는 모터의 각상에 흐르는 전류를 제어해야 한다[2]. 일반적으로 이와같은 전류를 제어하기 위해서 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 많이 사용한다. PWM방식은 펄스의 폭을 조절하면서 고속의 스위칭을 하여 모터 코일에 흐르는 전류의 평균값을 제어해주는 방법으로 효율이 좋은 전류제어 방식이다. 하지만 본 논문에서는 DAC(Digital Analog Converter)를 사용하였다.

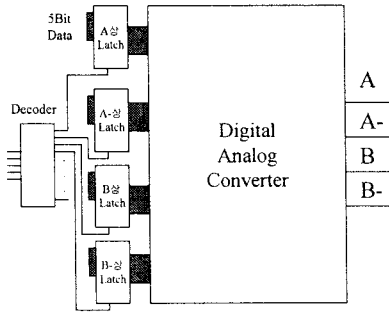


그림 9. 모터 1개 구동 Block Diagram

PWM방식은 고속의 스위칭을 이용하여 코일에 흐르는 평균 전류를 제어하는 방식이므로 스위칭 주파수에 의한 전류 리플이 발생하게 된다[5]. 본 논문에서 설계한 모터의 한 상에 흐르는 전류는 12mA정도이다. 그러므로 미세한 전류 리플에도 모터 출력에 큰 영향을 미친다. 그래서 본 논문에서는 DAC를 설계하여 그 출력으로 바로 모터를 구동하는 방식을 사용하였다. 그러므로 본 논문에서 제안한 구동회로 제작은 고가의 파워소자 공정을 거치지 않고도 CMOS공정으로만 가능하다는 장점이 있다. 그림 9는 스텝모터 하나를 구동하기 위한 IC내부를 간단히 도식화 하였다. 마이크로 컨트롤러에서 어드레스와 데이터를 각 디코더와 레치의 입력으로 받아 원하는 전류값을 DAC로 전달 시키면 DAC에서는 원하는 전류를 출력 시켜서 모터를 구동한다.

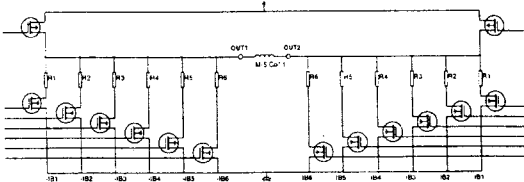


그림 10. DAC의 기본 개념

그림 10은 본 논문에서 제안한 DAC의 기본 구조이다. 기본적으로 OUT1과 OUT2에 전류가 양방향으로 흘릴수 있게 되어야 하며, 그 흐르는 전류의 양이 제어되어야 한다. 전류를 제어하기 위하여 하단 N-Channel의 TR은 저항과 함께 여러개를 조합하여 병렬로 연결함으로써 그 TR의 도통되게 하는 수를 결정하여 코일에 흐르는 전류의 양을 제어하게 된다. 2상 스텝모터를 제어하기 위해서는 위와같은 회로가 각 상별로 하나씩 2개가 필요하게 된다. 본 논문에서 설계한 IC는 모터 4개 구동용이므로 위와 같은 구조가 총 8개가 내장되어 있다. 마이크로 컨트롤러와 인터페이스는 1개의 모터 제어하는 5개의 어드레스를 사용하였다. 먼저 위단 TR4개를 하나의 어드레스에 할당하고, 아래단 TR은 각 32개를 하나의 어드레스로 제어 할수 있게 하였다.

3.3 시뮬레이션 및 실험 결과

2장에서 FEM으로 해석한 시뮬레이션과 실험 결과를 비교해 본다. FEM으로 시뮬레이션한 구동 방식은 2상 기본 스텝구동이므로 시뮬레이션 전류 파형은 그림 4와 같고 그 전류 RMS값은 약 10mA정도이다. 이것은 실험결과인 그림 12의 (a)와 같음을 알수 있다.

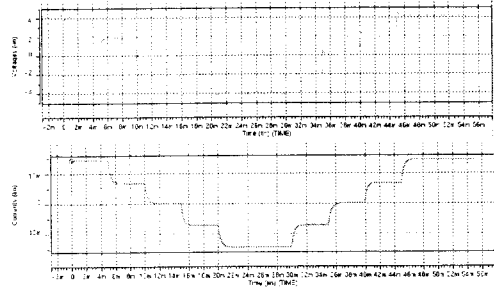
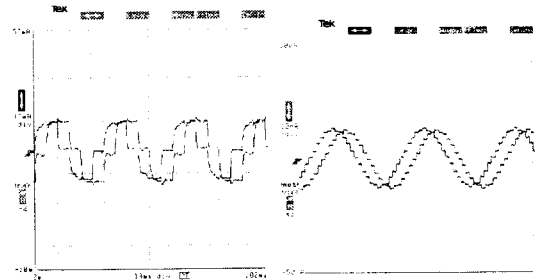


그림 11. 시뮬레이션 되어진 전압과 전류 파형



(a) 기본스텝 (b) 마이크로 스텝
그림 12. 200pps구동시 전류파형

그림 11에서는 DAC출력의 파형을 시뮬레이션 한결과인데, 한 스텝을 5스텝으로 나눈 전압 및 전류 파형이다. 이는 설계 의도대로 각 스텝이 등간격으로 분할되어 출력 되고 있음을 알수 있다. 그리고 이는 정격 구동 주파수인 200pps에서 실험한 실험결과로 증명하였다.

4. 결 론

스텝 모터를 자동차 계기용으로 내부에 장착하기 위해서는 공간적인 문제로 인하여 구동드라이버를 One Chip화 하지 않으면 안된다. 그래서 본 논문에서는 자동차 계기용 2상 스텝모터를 소형, 경량으로 설계하고 또한 이를 구동하기 위한 구동IC를 설계, 제작하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 결과를 제시 하였다. 향후 이 설계된 IC의 신뢰성을 충분히 실험하고 또한 입력신호에 따른 정확한 위치제어를 위한 알고리즘을 연구해야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사, 1992.
- [2] Takashi kenjo and Akira Sugawara, "Stepping Motors and Their Microprocessor controls", Oxford University Press, 1994.
- [3] 차영배, "8051 기초부터 응용까지", 1996
- [4] 최익, "제어용모터 실무기술", 기술, 1991.
- [5] Du Xu and Yongping Jiang, "A Method and Implementation of Fully Digitized Continuous Microstep for Step Motor", IEEE Trans. on Industrial Electronics, 1997