

반사형 광센서를 이용한 저가형 SRM 위치검출기법

김세주*, 윤용호*, 정균하*, 원충연*, 김영렬**
 성균관대학교*, 안양대학교**

A Low Cost Switched Reluctance Motor Position Sensing Method Using Reflective Type Photo-sensors

S.J Kim* , Y.H Yoon* , G.H Jung* , C.Y Won* , Y.R Kim**
 Sungkyunkwan University* , Anyang University **

ABSTRACT

Since rotor position information is necessary to drive the SRM, absolute-encoder, resolver and incremental encoder is used to detect a rotor position. But, it is not desirable to use a high price encoder and microprocessor under the condition of the simple driving system when precision control is not demanded. In this paper, only using the reflective type two photo-sensors replaces the conventional opto-interrupter and slotted-disk, which not only remove a slotted-disk section but drive three-phase 6/4 pole SRM bidirectionally. Therefore, control circuit can compose common analog device with low price.

1. 서 론

SRM은 회전자의 위치에 따라 상권선의 여자시점이 결정되므로 회전자의 정확한 위치정보가 요구된다.

회전자 위치검출을 위해 절대형엔코더 및 레졸버를 사용할 경우 초기 회전자 위치 검출이 가능하여 초기기동이 가능하지만 경제성을 고려할 때 적절하지 않다. 증분형엔코더의 경우 초기 회전자 위치 검출이 용이하지 않아 초기기동의 문제가 있고, 홀센서를 이용할 경우 별도의 영구자석을 부착하여야 하는 단점이 있다.

초기기동과 경제성을 고려할 때 슬롯디스크 및 옵토인터럽터를 이용한 광센서 기법이 적합하지만, 이 방식은 6/4 pole SRM의 경우 3개의 옵토인터럽터와 슬롯디스크가 필요하다.

반면에 본 논문에서는 단지 2개의 광센서만을 이용하여 3상 6/4 pole SRM을 구동하였으며 초기기동 및 정·역 운전을 가능하게 하였다.

광센서의 개수를 1개 줄이고 슬롯디스크를 제거하여 제작의 편리성과 경제성이 개선되었으며 슬롯디

스크 취부면적이 제거되어 모터의 부피가 줄어든다.

2. 제안한 광센서 방식

2.1. 기존 광센서를 이용한 위치검출 기법

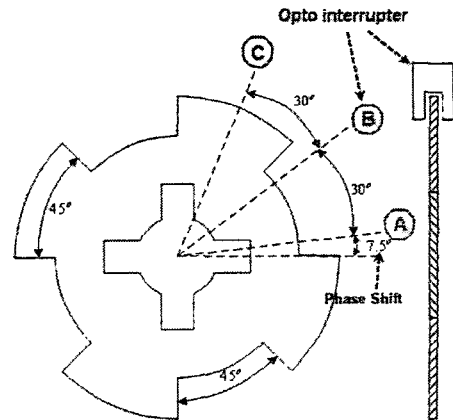


그림 1. 옵토인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 회전자 위치검출

Fig. 1. Rotor position sensing by Optointerrupters and Slotted disk.

그림 1은 기존 옵토인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 위치센싱 방법을 보여준다. 슬롯디스크와 옵토인터럽터 3개를 이용하여 회전자의 위치를 검출할 수 있으며 이와 같은 방법을 이용할 경우 고가의 엔코더를 사용하지 않고 각 상의 정확한 여자시점을 결정할 수 있다.^[1] 3상 6/4 SRM을 정·역 운전하기 위해서는 3개의 센서가 필요하다.^[1]

하지만 제안한 방식에서는 단지 2개의 광센서만

으로 초기기동 및 정·역 운전을 가능하게 하였다.

2.2. 사용된 위치 검출기법

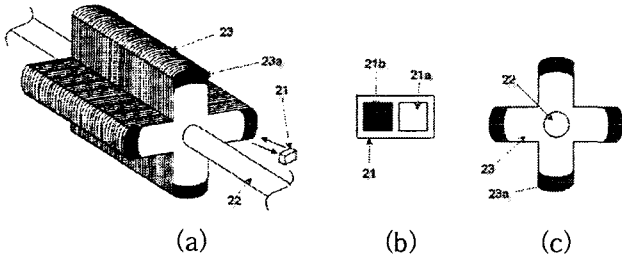


그림 2. 적용된 위치 검출 기법의 기본원리.

(a) SRM의 회전자 위치 검출장치의 구조

(b) 반사형 광센서의 구조 (c) 반사체 구조

Fig. 2. Applied position sensing technique

(a) Equipment of SRM position sensor

(b) Reflective type photosensor

(c) Structure of reflector

그림 2는 반사형 광센서(21)를 구성하고, 구동축(22)을 중심으로 회전하게 되는 적층구조의 회전자(23)를 보여준다. 하나의 날장에 반사형 광센서와 상응하는 부분에 도금(23a)을 하여 반사형 광센서에 의해 회전자의 회전위치를 검출하는 LG전자 공개실용신안 SRM의 회전자 위치 검출장치이다.^[2]

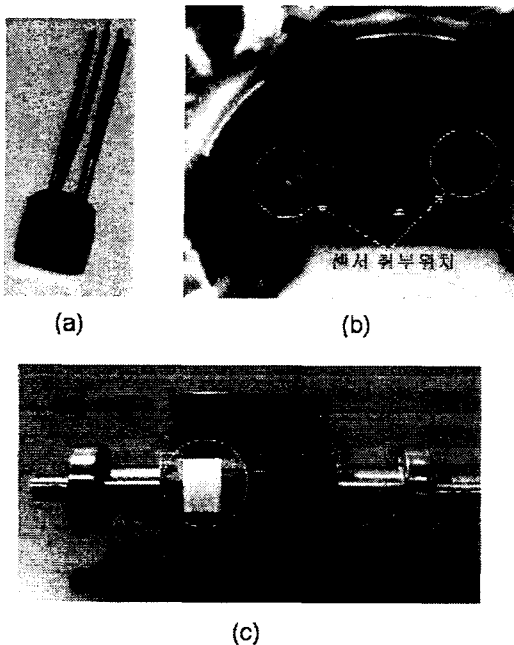


그림 3. 제안된 위치검출 기법.

(a) 반사형 광센서 (b) 센서 취부모습 (c) 명암 처리된 회전자

Fig. 3. Proposed rotor position sensing technique

(a) Reflective type photosensor

(b) Picture of installed sensors

(c) Treated rotor with light and shade

본 논문에서는 그림 2의 원리를 이용하여 그림 3(c)와 같이 SRM의 특성상 존재하는 회전자 돌극부에 명암 처리를 한다. 동시에 발광부와 수광부가 함께 있는 그림 3(a)의 반사형 광센서를 고정자 슬롯 옆면에 그림 3(b)와 같이 취부하여 돌극부가 반사형 광센서를 통과하는 시점에 High 신호가 검출되도록 함으로서 슬롯디스크와 옵토인터럽터의 기능을 하게 한다.

이와 같은 방식을 사용할 경우 기존 광센서 기법과 동일한 장점들을 가지면서도 슬롯디스크 면적이 줄어들어 간결하게 모터의 제작이 가능하며 제조공정도 줄어들게 된다.

2.3. 반사형 광센서 2개를 이용한 회전자 위치 검출 원리

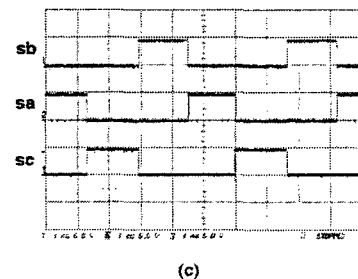
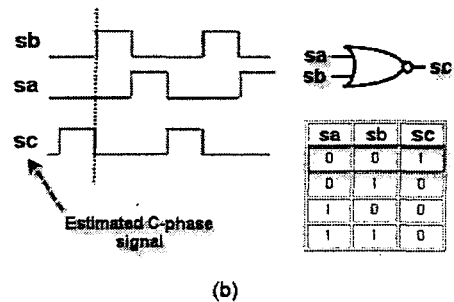
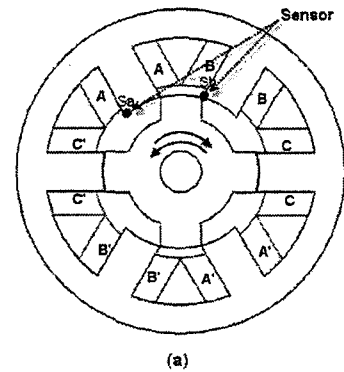


그림 4. 반사형 광센서 2개를 사용한 C상 추정.

(a) 광센서 취부위치 (b) C상 추정회로

(c) 각상 위치검출 결과파형

Fig. 4. C-phase estimation by using only 2 reflective type photosensor (a) Position of sensor (b) Estimated C-phase (c) Result waveforms of each phase position sensing

그림 4(a)와 같이 광센서 sa와 sb를 취부하고 두 신호로부터 그림 4(b)와 같이 NOR회로를 통해 sc를 검출하여 sc, sb, sa가 각각 High 신호일 경우 C, B, A 상을 여자 한다면 회전자는 시계방향으로 회전하게 된다. 또한, sc, sb, sa가 각각 High 신호일 경우 A, C, B 상을 여자 한다면 회전자는 반시계방향으로 회전하게 된다.

이와 같은 간단한 방식을 이용하여 6/4 pole SRM의 정확한 여자시점을 결정할 수 있으며 초기 기동 및 정·역 구동이 가능하게 된다.

그림 4(c)는 실제 실험파형이며 추정된 sc의 신호는 sa와 sb가 Low인 구간동안 High신호가 발생하도록 하면 된다.

여기서 만일 회전자의 초기위치가 정확히 sa와 sb의 사이에 위치했을 경우 모든 상의 신호가 Low레벨이 될 수 있기 때문에 초기기동이 불가능할 수 있는데 NOR회로를 사용함으로써 sa와 sb가 Low레벨이어도 sc의 신호에 의해 C상이 여자되게 되어 sa와 sb의 동시 Low레벨위치를 벗어날 수 있으므로 초기 기동이 보장될 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1. 시뮬레이션 회로도

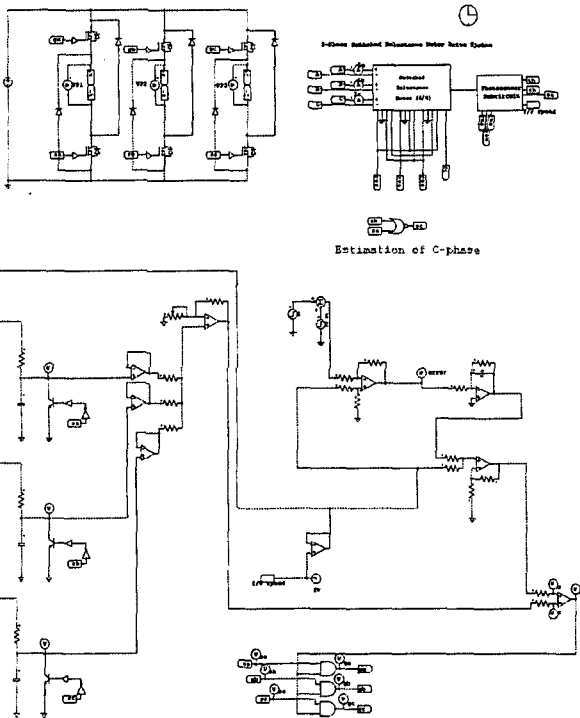


그림 5. 전체 시뮬레이션 회로도
Fig. 5. Overall simulation circuit

그림 5의 시뮬레이션 회로는 Psim 6.0을 사용하

여 실제 구성된 실험회로의 동작원리와 유사하도록 모델링 하였다.

속도 기준전압과 f/V 컨버터 전압(실제속도)간의 오차값을 오차증폭기에 거친 전압과 sa, sb, sc신호를 적분하여 얻은 각 상당 톱니파의 합을 비교하여 스위칭 듀티를 결정한다.

다시 AND회로를 통하여 각 상당 여자시점에 맞도록 분리하여 비대칭컨버터의 상단 스위치들을 제어함으로써 속도 제어를 하게 된다.

하단 스위치들은 광센서 신호인 sa, sb, sc신호를 그대로 가해주고 상단 스위치의 듀티를 가변함으로써 상단 스위치 off시 하단측 스위치와 다이오드를 통한 순환모드를 만들어 주어 전류 및 토크맥동을 줄일 수 있다.

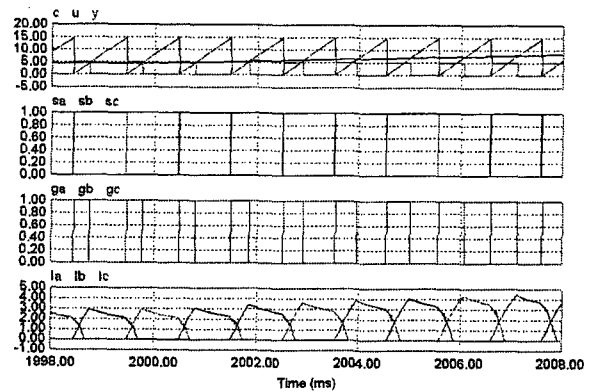


그림 6. 시뮬레이션 파형.
Fig. 6. Simulation waveform

그림 6은 기동후 2초후에 기준속도 값이 500[rpm]에서 1000[rpm]으로 증가함에 따라 제어신호 u가 점차 증가하여 톱니파 c와 비교되므로 출력 y의 듀티가 증가함을 나타낸다.

출력된 y는 sa, sb, sc와 AND회로를 거쳐 ga, gb, gc의 상단 스위치신호를 만든다. 가장 하단 그림은 ga, gb, gc의 듀티가 증가함에 따라 기준속도를 추종하기위해 전류가 증가해 가는 것을 보여준다.

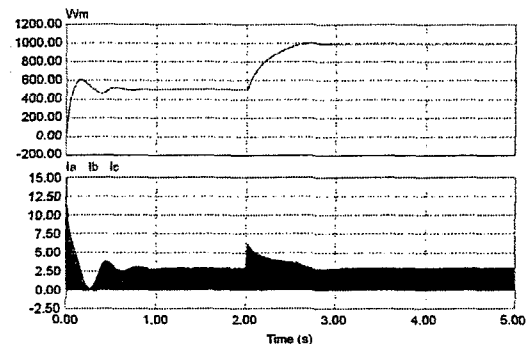


그림 7. 속도 및 상전류 시뮬레이션 파형.
Fig. 7. Simulation waveform of speed and phase current

그림 7은 기동후 기준 속도가 500[rpm]에서 1000[rpm]으로 증가했을 때 실제속도 파형이며 하단은 이때 각 상의 전류파형을 나타낸다.

4. 실험 결과

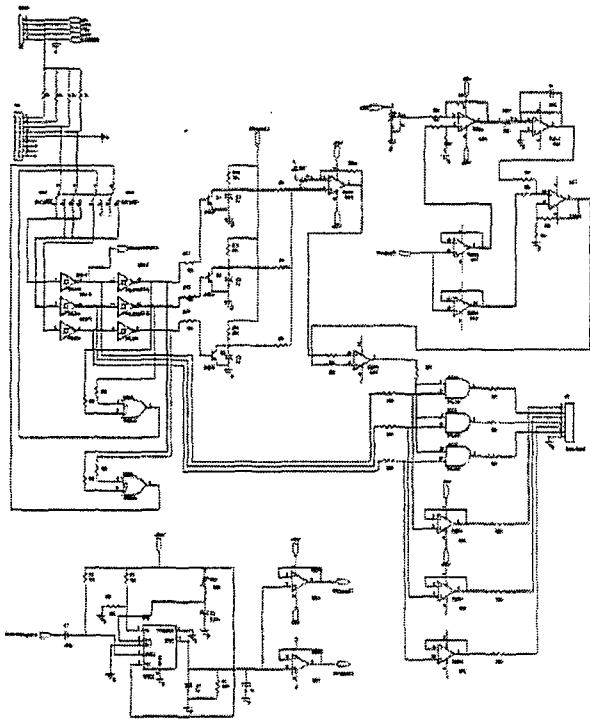
실험에 사용한 컨버터는 제어의 다양성이 뛰어나며 전류중첩이 가능한 비대칭 브릿지 컨버터이고 표 2는 실험에 사용된 전동기 파라미터이다.

표 2. 전동기 파라미터
Table 2. Motor parameter

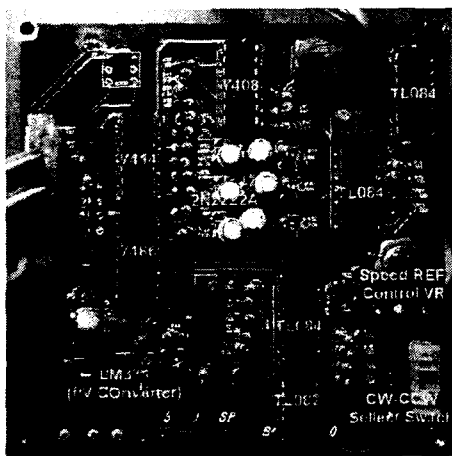
정격 출력	160[W]	상 권선저항	0.04166[Ω]
정격 전압	12[V]	최대 인덕턴스	2.332[mH]
상 수	3[상]	최소 인덕턴스	0.241[mH]
고정자 극수	6[pole]	회전자 극수	4[pole]

그림 8(a),(b)는 실험에 사용된 전체회로도 및 구성된 회로보드이며 저가형 범용 소자를 최소한의 구성만으로 회로를 설계하였다.

sa 신호를 LM331(f/V컨버터)의 입력으로 이용하여 sa 펄스 주파수에 비례한 출력전압이 발생하도록 하여 운전 중인 전동기의 속도를 검출하여 속도 제어를 행하였다.



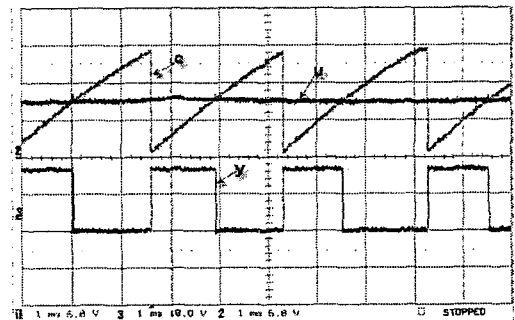
(a)



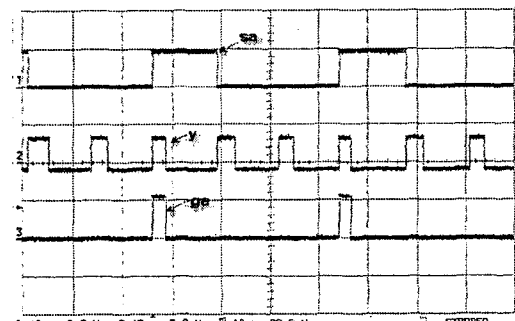
(b)

그림 8. 전체 실험 회로도 및 제어보드
(a) 실험 회로도 (b) 제어보드

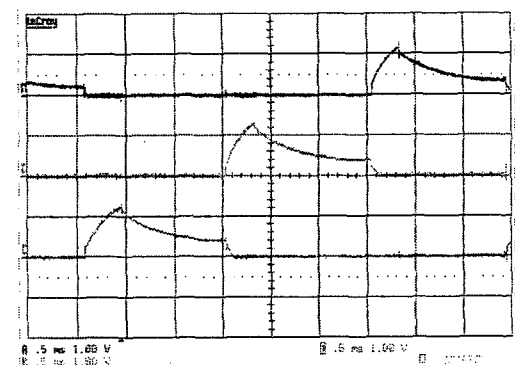
Fig. 8. Overall experimental circuit and control board
(a) Experimental circuit (b) Control board



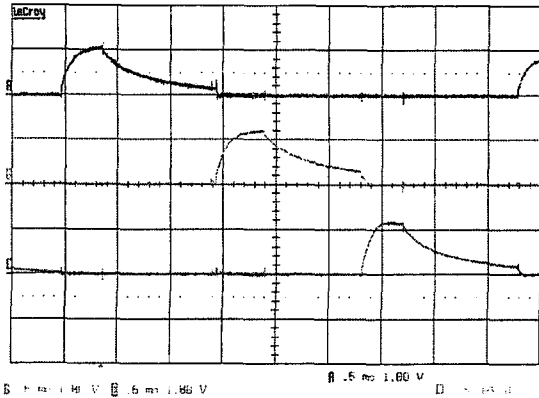
(a)



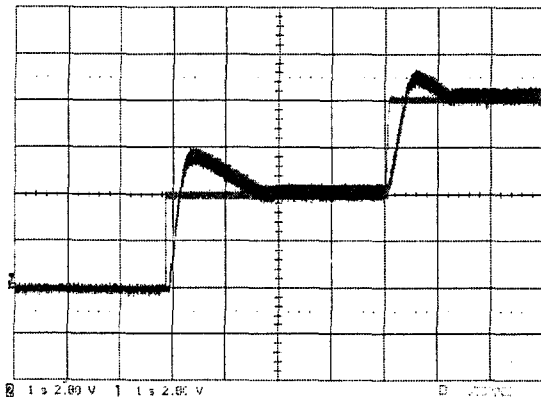
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 9. 실험파형

- (a) 비교기 입출력 파형
- (b) AND 회로단 입출력 파형
- (c) 3500[rpm] 정회전시 상전류파형(1A/div)
- (d) 3500[rpm] 역회전시 상전류파형(1A/div)
- (e) 기준속도 증가시 속도 추종파형(500[rpm]/div)

Fig. 9. Experimental waveform

- (a) Input and output waveform of comparator
- (b) Input and output waveform of AND circuit
- (c) Current waveform at 3500[rpm] forward direction(1A/div)
- (d) Current Waveform at 3500[rpm] reverse direction(1A/div)
- (e) Waveform of speed when reference speed increase(500[rpm]/div)

그림 9(a)는 기준전압과 f/V컨버터부 출력전압간의 오차를 제어기에 통과시킨 전압 u와 각상의 여자가능 구간에 발생된 톱니파 신호전압 c가 비교기를 통과하여 y 파형을 출력한다.

그림 9(b)는 그림 9(a)에서 출력된 전압 y와 sa신호가 AND되어 A상 상단스위치 여자신호인 ga를 생성한다.

sa신호는 비대칭컨버터의 하단스위치를 여자하고 ga신호는 상단스위치를 여자 시키는 소프트스위칭 방식이 가능하도록 하여 저속에서도 토크맥동을 줄였다.

그림 9(c)는 무부하 3500[rpm] 정회전시의 상전류파형, 그림 9(d)는 무부하 3500[rpm] 역회전시의 상전류 파형

을 나타낸다.

그림 9(e)는 초기 기동후 속도 기준전압을 증가시켰을 때 실제속도인 f/V컨버터 출력전압의 기준전압 추종과형이다.

5. 결 론

SRM 구동을 위해서는 회전자의 정확한 위치정보가 필수적이기 때문에 회전자 위치검출을 위해 고가의 절대형 엔코더 및 래졸버, 증분형 엔코더를 사용한다.

그러나 고정밀 제어가 아닌 단순구동 상황에서 고가의 엔코더 및 고성능 마이크로프로세서를 사용하는 것은 바람직하지 않다.

본 논문에서는 기존 옵토인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 광센서방식을 개선한 반사형 광센서방식을 이용하여 슬롯디스크부를 제거함과 동시에 광센서의 개수를 1개 줄여 단지 2개만으로 3상 6/4 pole SRM을 초기기동 및 양방향 운전이 가능하게 하였다.

이를 입증하기 위해 저가의 범용 아날로그 소자만으로 제어회로를 구성하여 시뮬레이션과 실험을 통해 기존 광센서 방식에 비하여 보다 저가이고 간단한 SRM 전용 위치센싱 기법을 제안하였다.

이 논문은 에너지관리공단(2003-0809-000)의 에너지절약기술개발 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] Becerra, R.C.; Ehsani, M.; Miller, T.J.E.; "Commutation of SR Motors", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1991. APEC '91. Conference Proceedings, 1991, Sixth Annual, 10-15 March 1991
- [2] 공개실용신안, 공개번호 1997-0052958 엘지전자 주식회사 신두진, "스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출장치"
- [3] 김건우, "가변 히스테리시스 제어에 의한 SRM 토크 리플 저감에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 1999.
- [4] T. J. E Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford University press, 1993.