

# 반사형 광센서를 사용한 저가형 SRM 구동시스템

( A Low Cost Drive System of Switched Reluctance Motor Using Reflective Type Photosensors )

김세주\* · 윤용호\* · 정균하\* · 원충연\* · 김영렬\*\*

( Se-joo Kim · Yong-ho Yoon · Gyun-ha Jung · Chung-yuen Won · Young-real Kim )

(성균관대학교\* · 안양대학교\*\*)

## 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 priced encoder and high efficient microprocessor under the condition of the simple driving system when precision control is not demanded. In this paper, Only using the reflective type 2 photosensors replace the conventional opto interrupter and slotted disk, which not only remove a slotted disk section but drive 3-phase 6/4 SRM bidirectionally. Moreover, as control circuit only is composed of common analog device, economy is maximized.

높이고자 한다.

## 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. 충분형엔코더의 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 옵토 인터럽터를 이용한 광센서 기법이 적합하지만, 이 방식은 6/4 pole SRM의 경우 3개의 옵토인터럽터와 슬롯디스크가 필요하다. 반면에 본 논문에서는 단지 2개의 광센서만을 이용하여 6/4 pole SRM을 구동하였으며 초기기동 및 정·역 운전을 가능하게 하였다.

광센서의 개수를 1개 줄이고 슬롯디스크를 제거함으로써 제작의 편리성과 경제성이 개선되었으며 스롯디스크 취부면적이 제거되어 모터의 부피도 줄일 수 있었다.

기존 광센서 방식과 마찬가지로 본 방식역시 분해능이 낮은 문제점이 있어 정밀 속도제어가 요구되는 경우 적합하지 않으므로 제어회로에 고가의 프로세서를 사용하는 것은 적합하지 못하다. 본 논문에서는 단지 저가의 아날로그 소자만으로 제어를 구성하여 경제성을

## 2. 제안한 광센서

### 2.1. 기존 광센서를 이용한 위치검출 기법

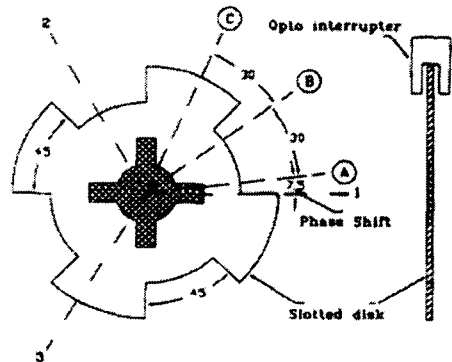


그림 1. 옵토인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 회전자 위치검출

Fig. 1. Rotor position sensing by Opto interrupters and Slotted disk.

그림1은 옵토인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 위치 센싱 방법을 보여준다. 슬롯디스크와 옵토인터럽터 3개를 이용하여 회전자의 위치를 검출할 수 있으며 이와 같은 방법을 이용할 경우 고가의 엔코더를 사용하지 않

고 각 상의 정확한 여자시점을 결정할 수 있다.[1]

표 1은 상수에 따라 3개 또는 4개의 광센서가 있어 야만 정·역 운전이 가능함을 나타내며 3상 6/4 SRM을 정·역 운전하기 위해서는 3개의 센서가 필요하다.[1] 그러나 제안한 방식에서는 단지 2개의 광센서만으로 정·역 운전을 가능하게 하였다.

표 1. 3개와 4개의 센서를 가진 양방향 동작.  
Table 1. Bidirectional operation with three and four sensors.

Motor Type	3상 6/2 pole	3상 6/4 pole	3상 12/8 pole	4상 8/6 pole
센서의 개수	3	3	3	4
센서간의 간격	60	30	15	15
슬롯의 크기	90	45	22.5	22.5
치의 크기	90	45	22.5	37.5
슬롯의 수	2	4	8	6

## 2.2. 사용된 위치 검출기법

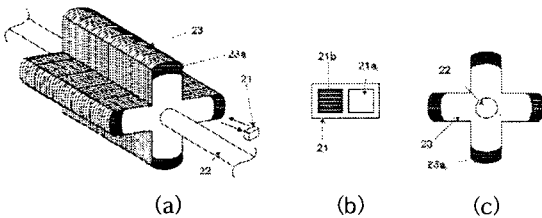


그림 2. 적용된 위치 검출 기법의 기본원리. (a) SRM의 회전자 위치 검출장치의 구조 (b) 반사형 광센서의 구조 (c) 회전자 구조

Fig. 2. Used position sensing technique (a) Equipment of SRM position sensor (b) Reflective type photosensor (c) Rotor structure

그림2는 반사형 광센서(21)를 구성하고, 구동축(22)을 중심으로 회전하게 되는 적층구조의 회전자(23)에 있어 하나의 날장에 반사형 광센서와 상응하는 부분에 도금(23a)을 하여 반사형 광센서에 의해 회전자의 회전위치를 검출하도록 하는 것을 특징으로 하는 SRM의 회전자 위치 검출장치로서 LG전자의 공개실용신안된 것을 보여준다.[2]

본 논문에서는 그림2의 원리를 이용하여 그림3(c)와 같이 SRM의 특성상 존재하는 돌극부에 명암 처리를 함과 동시에 발광부와 수광부가 함께 있는 그림3(a)의 반사형 광센서를 고정자 슬롯 옆면에 그림3(b)와 같이 취부하여 돌극부가 반사형 광센서를 통과하는 시점에

High 신호가 검출되도록 함으로서 슬롯디스크와 옵토인 터럽터의 기능을 대체할 수 있었다.

이와 같은 방식을 사용할 경우 기존 광센서 기법과 동일한 장점들을 가지면서도 슬롯디스크 면적이 줄어들어 간결하게 모터의 제작이 가능하며 제조공정도 줄어들게 된다. 반사형 광센서를 각상 고정자슬롯 옆면에 부착 할 수 있도록 보빈 제작시 적당한 어드밴스각이 적용될 수 있도록 취부위치를 고려하여 제작한다면 간편한 센서취부가 가능하다.

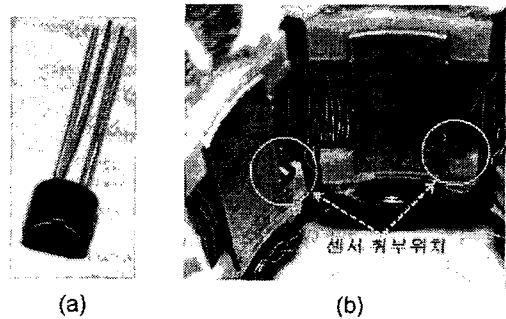
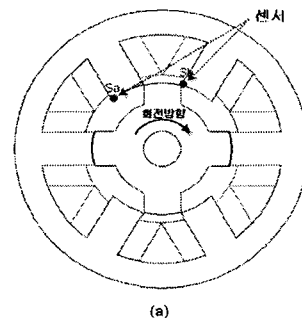
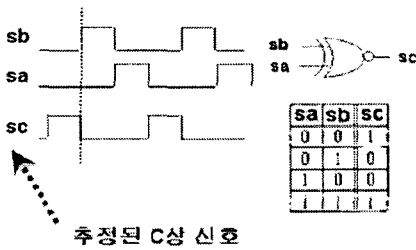


그림 3. 실제 사용된 위치검출 기법. (a) 반사형 광센서 (b) 센서 취부모습 (c) 명암 처리된 회전자  
Fig. 3. Applied rotor position sensing technique (a) Reflective type photosensor (b) Picture of installed sensors (c) Treated rotor with light and shade

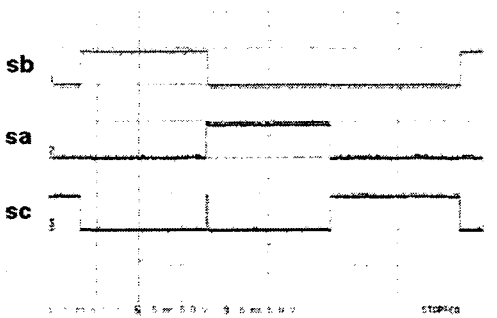
## 2.3. 반사형 광센서 2개를 사용한 회전자 위치 검출 원리





추정된 C상 신호

(b)



(c)

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 waveform of each phase position sensing

그림4(a)와 같이 광센서 sa 와 sb 를 취부하고 두 신호로부터 그림4(b)와 같이 XNOR 회로를 통해 sc를 검출하여 sc, sb, sa 가 각각 High 신호일 경우 C, B, A 상을 여자 한다면 회전자는 시계방향으로 회전하게 된다. 또한, sc, sb, sa 가 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 있었으며 초기기동 및 정·역 구동이 가능하였다.

그림4(c)는 실제 실험파형이며 추정된 sc 의 신호는 sa 와 sb가 Low 인 구간동안 High 신호가 발생하도록 하면 된다. 여기서 NOR 회로를 사용하지 않은 이유는 만일 회전자의 초기위치가 정확히 sa 와 sb 의 사이에 위치했을 경우 모든 상의 신호가 Low레벨이 될 수 있기 때문에 초기기동이 불가능 할 수 있다.

이를 방지하기위해 XNOR 회로를 사용하여 sa 와 sb 가 Low레벨이어도 sc의 신호에 의해 C상이 여자되게 되어 sa와 sb의 동시 Low레벨위치를 벗어날 수 있으며

로 초기 기동이 보장될 수 있다.

또한 sc의 펄스성 신호는 뒤에 설명하겠지만 캐리어 파인 톱니파를 만드는 과정에서 제거되기 때문에 실제 각상 여자시 부토크로 작용하지는 않는다.

### 3. 시뮬레이션 결과

#### 3.1. 시뮬레이션 회로도

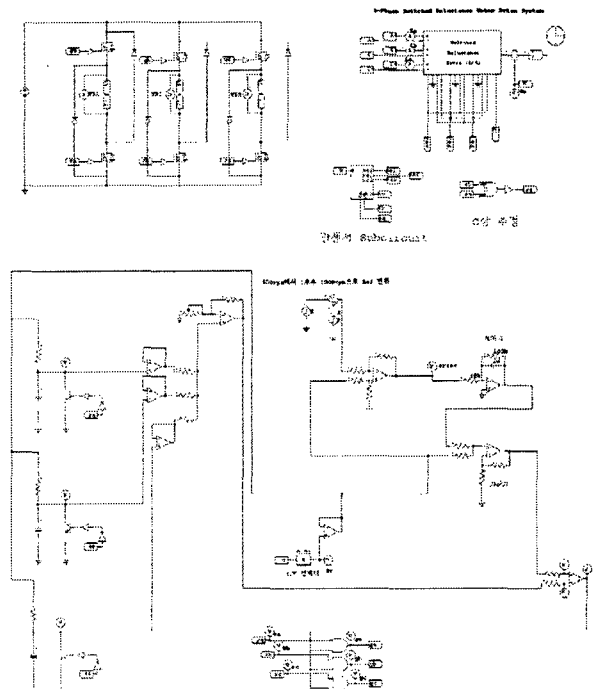


그림 5. 전체 시뮬레이션 회로도  
Fig. 5. Overall simulation circuit

그림5의 시뮬레이션 회로는 Psim 6.0을 사용하여 실제 구성된 실험회로의 동작원리와 유사하도록 모델링 하였다.

속도 기준전압과 f/V 컨버터 전압(실제속도)간의 에러치를 오차증폭기를 거친 전압과, sa, sb, sc 신호를 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, sc 신호를 그대로 가해주고 상단 스위치의 듀티를 가변함으로써 상단 스위치 off시 하단측 스위치와 다이오드를 통한 순환

모드를 만들어 주어 전류 및 토크리플을 줄일 수 있다.

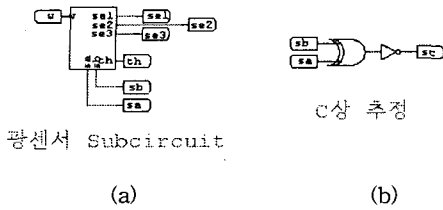


그림 6. 시뮬레이션 부분회로 (a) 광센서 Subcircuit (b) C상 추정회로  
 Fig. 6. Partial circuit of simulation (a) Photosensor subcircuit block (b) C-phase estimation block

그림 6(a)의 광센서 Subcircuit회로는 측정된 속도를 입력받아 적분하여 각도를 계산한 후 이로부터 각 상의 유효 여자시점을 결정하도록 내부 회로가 구성되어 있으며 그림 6(b)는 sa 와 sb 신호를 이용하여 sc 신호를 추정하는 회로이다.

본 회로를 살펴보면 f/V컨버터의 출력전압은 실제 속도 출력전압으로 활용되어 제어회로에 입력됨과 동시에 톱니파 발생부의 입력전압으로 작용하여 속도가 증가함에 따라 톱니파의 최대치가 낮아지는 문제를 해결하여 속도에 관계없이 일정한 최대치를 갖는 톱니파를 발생 할 수 있었다.

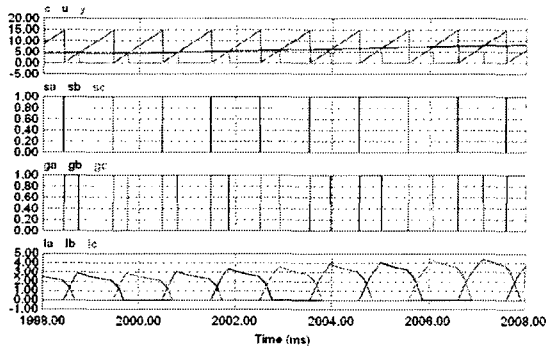


그림 7. 시뮬레이션 파형.  
 Fig. 7. Simulation waveform

그림 7은 기동후 2초경에 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 추종하기 위해 전류가 증가해 가는 것을 보여준다.

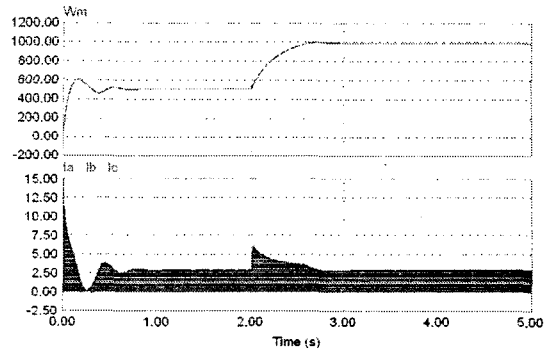
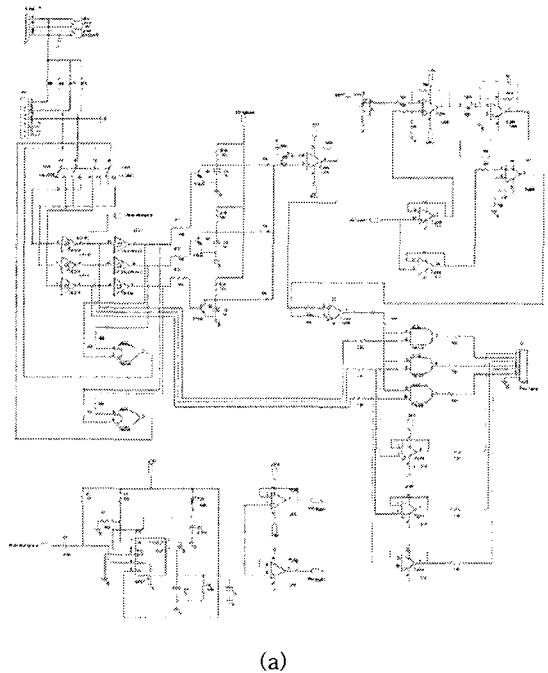


그림 8. 속도 및 상전류 시뮬레이션 파형.  
 Fig. 8. Simulation waveform of speed and phase current

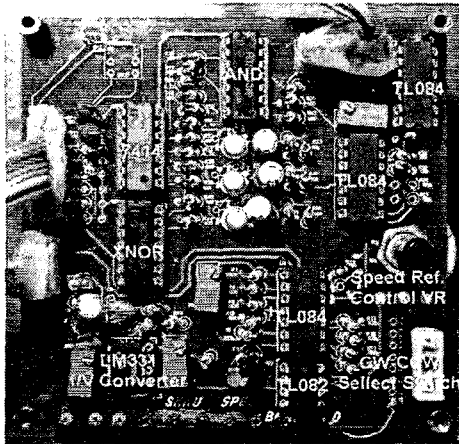
그림8은 기동후 기준 속도가 500[rpm]에서 1000[rpm]으로 증가했을때 실제속도가 추종해가는 모습을 나타내며 하단파형은 이때 각 상의 전류파형을 나타낸다.

#### 4. 실험 결과

실험에 사용한 컨버터는 제어의 다양성이 뛰어나며 전류중첩이 가능한 비대칭 브릿지 컨버터를 사용하였고 표2는 실험에 사용된 전동기 파라미터를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 9. 전체 실험 회로도 및 제어보드 (a) 실험 회로도 (b) 제어보드

Fig. 6. Overall experimental circuit and control board (a) Experimental circuit (b) Control board

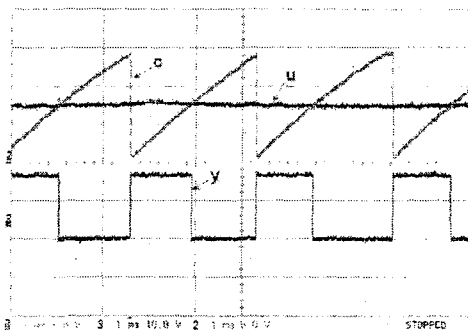
표 2. 전동기 파라미터

Table 2. Motor parameter

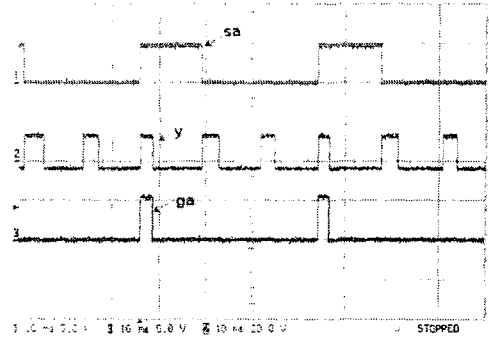
정격 출력	160[W]	상 권선저항	0.04166[Ω]
정격 전압	12[V]	최대 인덕턴스	2.332[mH]
상 수	3[상]	최소 인덕턴스	0.241[mH]
고정자 극수	6[pole]	회전자 극수	4[pole]

그림 9(a)는 실험에 사용된 전체회로도를 나타내며 그림 9(b)는 실제 구성된 회로보드이며 저가형 범용 소자를 최소한의 구성만으로 회로를 설계하였다.

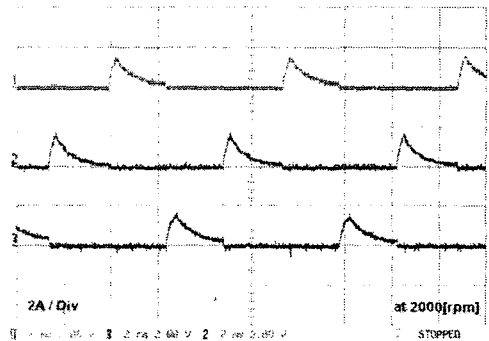
sa 신호를 LM331(f/V컨버터)의 입력으로 이용하여 sa pulse 주파수에 비례한 출력전압이 발생하도록 하여 운전중인 전동기의 속도를 검출하여 속도제어를 행하였다.



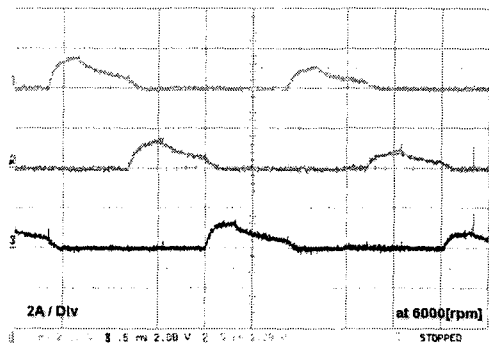
(a)



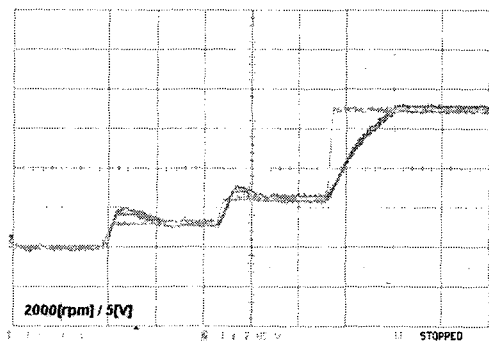
(b)



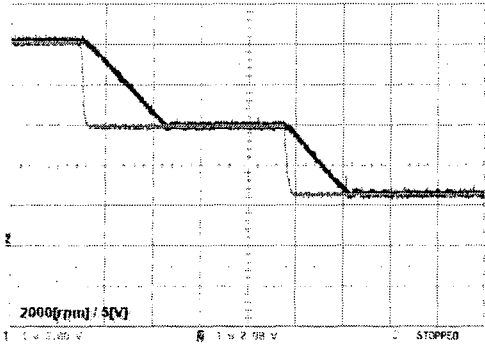
(c)



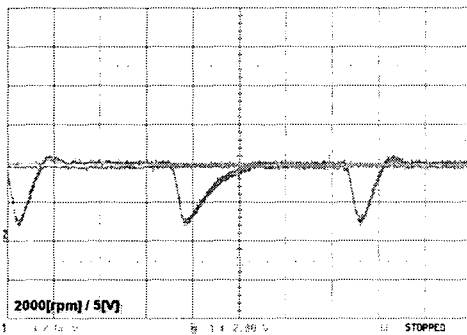
(d)



(e)



(f)



(g)

그림 10. 실험파형 (a) 비교기 입력력 파형 (b) AND 회로단 입력력 파형 (c) 2000[rpm] 정회전시 상전류파형 (d) 6000[rpm] 역회전시 상전류파형 (e) 기준속도 증가시 속도 추종파형 (f) 기준속도 감소시 속도 추종파형 (g) 정·역 구동 반복시 속도 추종파형

Fig. 10. Experimental waveform (a) Input and output waveform of comparator (b) Input and output waveform of AND circuit (c) Current waveform at 2000[rpm] forward direction (d) Waveform at 6000[rpm] reverse direction (e) Waveform of speed when reference speed increase (f) Waveform of speed when reference speed decrease (g) Waveform of speed when forward-reverse repetition

그림10(a)는 기준전압과 f/V컨버터부 출력전압간의 오차를 제어기에 통과시킨 전압  $u$ 와 각상의 여자가능 구간에 발생된 톱니파 신호전압  $c$ 가 비교기를 통과하여 y파형을 출력한다.

그림10(b)는 그림10(a)에서 출력된 전압  $y$ 와 sa신호가 AND되어 A상 상단스위치 여자신호인  $ga$ 를 생성한다.

sa신호는 비대칭컨버터의 하단스위치를 여자하고 ga신호는 상단스위치를 여자 시키는 소프트스위칭 방식이 가능하도록 하여 저속에서도 토크리플을 가능한 줄이려

노력하였다.

그림10(c)는 무부하 2000[rpm] 정회전시의 상전류파형, 그림10(d)는 무부하 6000[rpm] 역회전시의 상전류파형을 나타낸다.

그림10(e)는 초기기동후 약 2초 간격으로 속도 기준 전압을 증가시켰을때 실제속도인 f/V컨버터 출력전압의 기준전압 추종파형이며 그림10(f)는 속도 기준전압 감소시 추종되는 f/V컨버터 출력전압파형이다.

그림9(g)는 약 2초 간격으로 정·역 운전을 반복했을시 속도 기준전압과 실제속도인 f/V컨버터 출력전압 파형을 나타낸다.

## 5. 결 론

SRM 구동을 위해서는 회전자의 정확한 위치정보가 필수적이기 때문에 회전자 위치검출을 위해 고가의 절대형 엔코더 및 레졸버, 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.

그 결과 고가의 마이크로프로세서를 사용하지 않고 범용 아날로그 소자만으로 속도제어회로를 구성하여 경제성을 높일 수 있었다.

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 신드진 "스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출장치"
- (3) 김건우, "가변 히스테리시스 제어에 의한 SRM 토크 리플 저감에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1999.
- (4) T. J. E Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control" , Oxford University press, 1993.