

SRM용 저가형 아날로그 엔코더

김태형, 박성준*, 안진우
경성대, 전남대*

A Low Cost Analog Encoder for SRM

Tae-Hyung Kim, Sung-Jun Park*, Jin-Woo Ahn
Kyungsoong Univ, Chonnam National Univ*

ABSTRACT

In a switched reluctance motor drive, it is important to synchronize the stator phase excitation with the rotor position, because the position of rotor is an essential information. In the high-speed region, switching angles are fluctuated back and forth out of the preset value, which is caused by the sampling period of the microprocessor.

In this paper, a low cost analog encoder to be suitable for practical applications is proposed. The validity of the proposed analog encoder with a proper logic controller is verified from the experiments.

1. 서론

저렴한 비용은 산업용 전동기와 드라이브 부문에서 우위를 차지하는 중요한 요소 중의 하나이다. 스위치드 릴럭턴스 모터(SRM)은 단일 여자기로서 기계적 구조가 단순하고 저가형의 강인한 전동기이다. SRM의 운전특성은 서보전동기와 마찬가지로 넓은 속도범위에서의 운전에 적합하여, 가전용품, 전기자동차, 항공기 등에 대한 응용이 폭넓게 연구되어 왔다[1][2][3]. 그러나 SRM은 운전 시 더 나은 스위칭동작을 위해 정확한 회전자 위치 정보는 필수적이다[5]. 이에 일반적으로 회전자의 위치를 알아내기 위해서 엔코더나 레졸버가 사용되나, 고해상도의 위치검출을 위해서는 단위가격이 높아지는 단점을 가진다. 따라서 설치비용을 줄이기 위하여 저가형 엔코더나 센서리스기법을 사용하기도 한다[6]. 그러나 저가형 엔코더를 사용하였을 경우 그 분해능으로 인하여 정확한 상의 검출이 어렵다. 센서리스 기법을 사용 경우 각 상 스위치의 적절한

제어를 위해서, 위치 신호를 계산하고 발생하는데에 마이크로프로세서가 많이 사용하게 되며 해상도는 마이크로프로세서의 주기에 의해 제한을 받게 된다.

본 논문에서 SRM드라이브의 고성능 스위칭 각 제어에 적합한 새로운 저가형의 아날로그 엔코더를 제시한다. 또한 매우 간단한 구조의 회로로 스위치 온-오프각의 제어가 가능한 기법을 제안한다. 제안된 스위칭 기법에서 스위치 온-오프각의 해상도는 일반적인 방법과는 다르며 마이크로프로세서의 샘플링 주기와 전동기 속도에 영향을 받지 않으므로 온-오프 스위칭각 제어는 어떠한 위치에서도 수행될 수 있다.

2. SRM의 기본원리

그림 1은 일반적인 SRM 드라이브 시스템을 보여준다. 토크는 스위칭 전류의 제곱과 식1에서의 회전자의 위치각에 따른 인덕턴스의 편미분값에 비례한다.

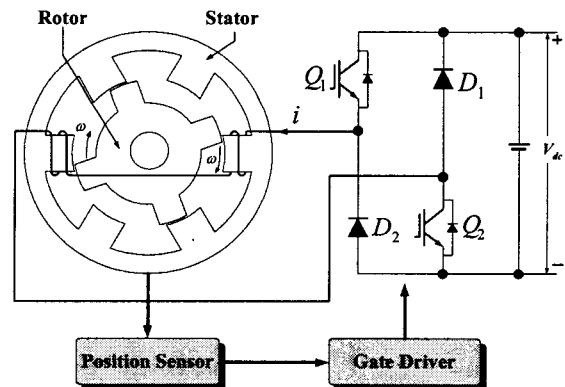


그림 1 SRM 드라이브 시스템
Fig. 1. SRM drive system

$$\tau(\theta) = \frac{1}{2} i(\theta)^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (1)$$

$L(\theta)$: 전동기의 인덕턴스 프로파일

SRM의 제어는 입력전압, 스위칭 온-오프각에 의해서 수행된다. 스위칭 온-오프각은 SRM의 전류량과 전류파형을 조절하는데, 전압원에서 전류를 효과적으로 상승시키기 위해서는 돌극이 만나기 전에 선행 스위칭이 필요하다. 스위칭-온 각은 전류를 상승시키기 위한 중요한 요소이다. 따라서 이 각은 최적의 운전특성을 얻기 위해 정확하게 제어되어야 한다.

3. SRM용 엔코더

3.1 일반적 엔코더

일반적으로 마이크로프로세서와 디지털부호방식의 엔코더 시스템은 고성능, 데이터 취급의 용이성 그리고 프로그램할 수 있는 특성으로 인해, 전동기 제어에서 많이 사용된다.

증분형 엔코더의 경우, 회전자 위치와 속도의 정확도는 샘플링주기와 엔코더 해상도에 달려있다. 제어성능은 회전자 위치의 정확도와 마이크로프로세서의 성능에 의해 결정된다. 회전자 위치의 절대 측정오차는 엔코더 해상도($\Delta\theta_C$)와 샘플링 주기($\Delta\theta_P$)사이의 회전자 위치 편차에 의해 결정된다.

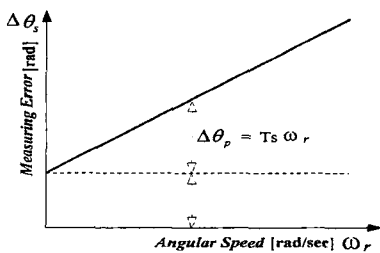


그림 2 회전자 속도에 따른 회전자 위치의 측정오차
Fig. 2. Measuring error of rotor position according to rotor speed

그림2는 증분형 엔코더 시스템인 마이크로프로세서에서 속도에 따른 절대 측정오차를 나타낸다. 저속영역에서는 엔코더 해상도에 의해서, 전동기속도가 증가할수록 샘플링주기에서 전동기 위치의 편차가 커지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 1024펄스의 엔코더 시스템과 회전자극수가 8극인 경우, 전동기 속도가 3000[rpm]이고 200[μ s]의 샘플링 주기를 가진다면 최대 전기각 31.6125도의 오차를 가질 수 있다. 이는 토크리플 유발과 전체 시스템 가격의 상승을 가져오게 된다.

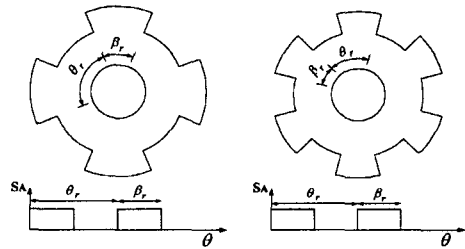
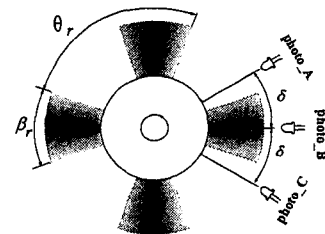


그림 3 단순한 광학엔코더와 센서신호
Fig. 3 A simple optical encoder and sensor signal

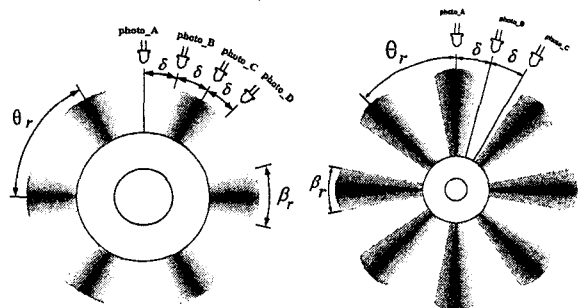
광학식 엔코더의 경우 스위칭 각 제어는 인덕턴스 프로파일에 정렬되어 있는 광학엔코더의 신호에 의해 수행된다. 그림3은 간단한 엔코더 디스크와 상의 센서 신호를 나타내었다. 광학엔코더의 구조는 대단히 간단하면서도 매우 저가이지만, 고해상도의 스위칭 각 제어는 매우 어렵다. 스위칭 온-오프각은 광학 엔코더 신호의 상승에지와 하강에지에서 계산되며, 계산된 스위칭 각의 정확도는 마이크로프로세서와 회전자속도에 달려있다. 이 경우 토크 조절을 위해 PWM기법이 채택되지만 고주파의 스위칭은 스위칭손실을 증가시킨다.

3.2 제안된 엔코더

본 논문에서는 SRM 스위칭각 제어용의 새로운 형태의 엔코더를 제안한다. 제안된 엔코더는 단순하지만 고해상도의 스위칭제어가 가능하다.



(a) 6/4 SRM



(b) 8/6 SRM

(c) 12/8 SRM

그림 4 제안된 아날로그 엔코더용의 디스크판
Fig. 4. Disk plate for the proposed analog encoder

그림4는 제안된 6/4, 8/6, 12/8 SRM용 아날로그

엔코더 디스크를 각각 나타낸다. 제안된 엔코더는 원판의 명암에 비례하여 아날로그 신호가 나오게 된다. 포토센서의 출력은 삼각파의 전압값이며, 위치각의 역할한다.

4. 스위칭 각과 제어 토폴로지

그림 5는 제안된 아날로그 엔코더를 이용하여 효과적인 스위칭 각 제어 방법의 원리이며, 인덕턴스 프로파일에 따른 제안된 엔코더의 출력신호를 나타내었다. 제안된 각제어법은 스위칭 온과 오프용 지령이 독립적이다.

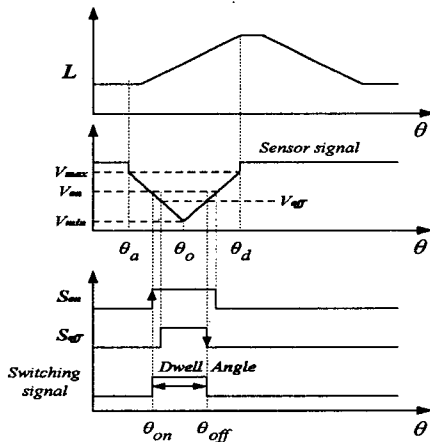


그림 5 상스위칭 각 제어

Fig. 5. Switching angle control of a phase

전동기 모드에서 스위칭 온각은 센서신호 θ_a 와 θ_0 사이의 상승구간에, 스위칭 오프각은 하강구간에 위치한다. 엔코더 신호패턴의 끝쪽에는 계단 형태의 신호가 되어 최대 드웰각 β_r 내에서 여가간격을 제한한다.

전동기 속도와 부하조건에 따라서, 지령신호 V_{on} 과 V_{off} 에 의해 적절한 스위칭 온각 θ_{on} 과 스위칭 오프각 θ_{off} 가 독립적으로 제어될 수 있다. 스위칭 온각 θ_{on} 은 센서 신호의 상승구간과 스위칭 온 지령신호 V_{on} 과의 교차지점에서 선택된다.

5. 실험 결과 및 검토

제안된 엔코더와 제어 토폴로지의 유효성을 검증하기 위해서 아날로그 엔코더가 장착된 12/8 SRM이 테스트되었다. 표1은 테스트된 전동기의 규격을 나타낸다.

그림6은 제어 시스템의 블록도를 나타낸다. 메인 프로세서로서 간단한 PIC프로세서가, 스위칭 각 제어를 위해 2채널 10bit D/A 컨버터가 사용되었다.

해상도는 식(2)와 같이 D/A 컨버터의 해상도에 의해 결정된다.

표 1 프로토타입 전동기의 제원

TABLE 1 Specification of the prototype motor

SRM Type	12/8	Stator pole arc	14 [deg.]
Rated power	500 [W]	Rotor pole arc	18 [deg.]
Rated speed	2000 [rpm]	Winding resistance	3 [Ω]
Rated voltage	200 [V]	Max. inductance	122 [mH]
Rated torque	2.5 [Nm]	Min. inductance	21 [mH]

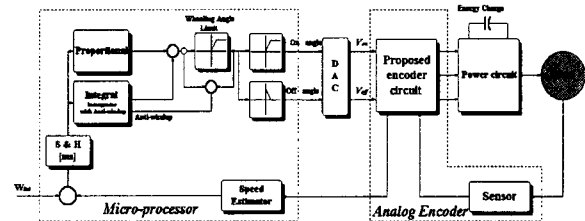


그림 6 제어 시스템의 블록도

Fig. 6 Block diagram of the control system

$$\theta_{resolution} = \frac{\beta_r \cdot V_{max}}{2^{n+1} \cdot (V_{max} - V_{min})} \quad (2)$$

여기서 n은 D/A 컨버터의 비트수로서, 본 논문에서는 스위칭 각의 해상도는 대략 0.01[°]이다.

그림7은 적용된 프로토타입 엔코더의 사진과 그 출력파형을 나타낸다.

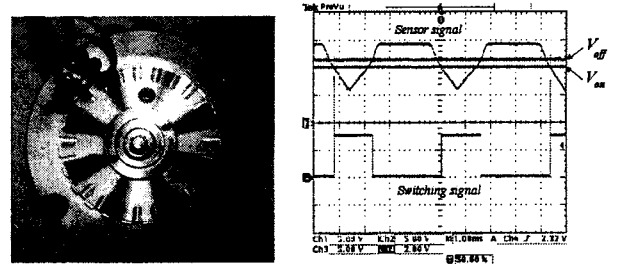


그림 7. SRM에 장착된 엔코더와 엔코더의 출력파형

Fig. 7 Prototype encoder and output waveform of encoder

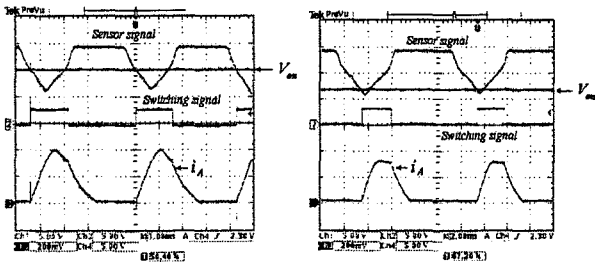
그림 8은 센서신호, 스위칭 온 지령, 스위칭신호, 상전류를 보여준다. 상전류파형은 센서신호와 스위칭 지령으로 결정된다.

그림 9는 제안된 엔코더와 제어 시스템에서 부하 변동에 따른 스위칭각 조정과 상전류를 보여준다. 2000[rpm] 일정속도 운전 중에 부하 토크가 1.3[Nm]에서 2.5[Nm]로 변한다. 스위칭 각은 스위칭 온 지령의 변화에 의해 조절된다. 갑작스런 부하변동에 스위칭각이 적절하게 제어될 수 있어, 매

끄러운 토크발생이 가능하다. 실험결과는 제안된 엔코더와 제어방법의 유효성을 보여준다.

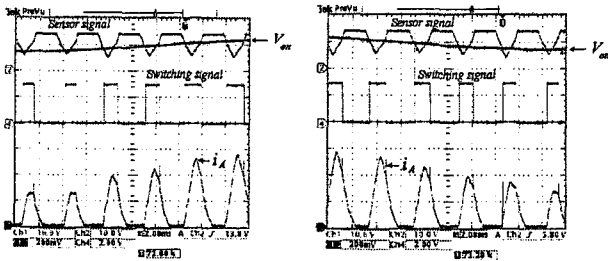
참고 문헌

- [1] P. J. Lawrenson, J.M. Stephenson and P. T. Blenkinsop et al, Variable-speed Switched Reluctance Motors , IEE Proc. B, vol.127, no.4, 1980, pp.253-265.
- [2] B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szezesny and W. H. Bocknell, "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor", IEEE Trans. Industrial Application, vol. 22, no. 4, pp. 708-715, 1986.
- [3] Hassan Moghbelli, Gayle E.Adams and Richard G.Hoft, "Performance of 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors," IEEE Trans. on IA, Vol.27, No.3, pp.531-538, 1991.
- [4] M.Ehsani, I.Husain, S.Mahajan, and K.R.Ramani, "New Modulation Encoding Techniques for Indirect Rotor Position Sensing in Switched Reluctance", IEEE Trans. on IA, Vol.30, No.1, pp.85-91, 1994.
- [5] J. W. Ahn et al, Novel Encoder for SRM Drive with High Resolution Angle Control , Proceedings of IEEE / ISIE 2001, pp. 1781-1785, 2001.
- [6] M.Ehsani, and K.R.Ramani, "Direct Control Strategies Based on Sensing Inductance in Switched Reluctance Motors", IEEE Trans. on PE, Vol.11, No.1, pp.74-82, 1996.



(a) 1750[rpm] (b) 800[rpm] (횡:2ms/div, 종:2A/div)
 그림 8 제어시스템에서의 신호(위로부터 센서신호, 스위칭 온지령, 스위칭 오프 지령, 전류)

Fig 8. Signals in the control system(sensor signal, switching-on reference, switching signal and current from top trace)



(a) 1.3[Nm]에서 2.5[Nm] (b) 2.5[Nm]에서 1.3[Nm]
 그림 9 2000[rpm]에서 갑작스런 부하의 변동에 따른 스위칭 특성 (횡: 2.0[ms/div] 종: 2.0[A/div])

Fig. 9. Switching characteristics of sudden load disturbance at 2000[rpm] (Hor: 2.0[ms/div], Ver: 2.0[A/div])

6. 결론

본 논문에서 저가형의 간단한 구조의 고성능 아날로그 엔코더를 제안하였고, 그 효용성을 보였다.

제안된 엔코더는 간단한 구조의 광학 엔코더와 회전자 위치의 고해상도 검출을 위한 아날로그 명암패턴을 사용하였다. 명암패턴의 끝부분에 스텝변화를 주어 간단히 여자각의 제한이 가능했다. 스위칭 온, 오프 각은 독립적인 지령으로 수행하였다.

또한 실험결과를 통해, 적절한 제어방법으로 제안된 아날로그 엔코더는 유효성이 있음을 검증하였다.

이 논문은 BB21 Project 지원에 의하여 연구되었음