

# 상전류 검출 및 도통각 조절을 이용한 SRM 센서리스 속도제어

신규재\*, 권영안\*\*

\* 순천제일대학, \*\* 부산대학교

## Sensorless Speed Control of Switched Reluctance Motor Using Phase Current Detection and Dwell Angle Control

K.J.Shin\* and Y.A.Kwon\*\*

\* Suncheon First College, \*\* Pusan National University

email: yakwon@hyowon.pusan.ac.kr

Abstract - Switched reluctance motor(SRM) has the advantages of simple structure, low rotor inertia, and high power rate per unit volume. However, position sensor is essential in SRM in order to synchronize the phase excitation to the rotor position. The position sensors increase the cost of drive system, and tend to reduce system reliability. This paper investigates the speed control of sensorless SRM. The proposed system consists of position detection circuit, dwell angle controller, digital logic commutator, PI speed controller and 4-phase inverter. The performances in the proposed system are verified through the experiment.

### 1. 서론

스위치드 리럭턴스 전동기(SRM)는 회전자에 권선이 나 영구자석이 없으므로 제작비용이 저렴하고 회전자 관성이 작으며 넓은 범위의 속도에서 고효율 운전이 가능할 뿐만아니라 구동회로가 간단한 점동 여러가지 장점을 가지는 전동기이다[1-3]. SRM의 속도제어를 위해서는 회전자의 위치각에 대한 정보가 필수적이므로 위치각 정보를 검출하기 위한 센서로써 옵토센서 또는 엔코더가 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 위치센서로 인하여 SRM의 가격상승, 열악한 주위환경에서 센서의 신뢰성 문제와 센서부착을 위한 전동기의 가공문제 등이 발생하게 된다. 따라서 센서리스 SRM 속도제어 방식으로는 상전류 파형 측정에 의

한 순시 기전력 측정방식과 인덕턴스 변화량 검출방식, 개루프 제어방식, 자속 추정방식, 상태관측기를 적용한 방식과 주파수 변조 및 위상변조를 적용한 방식, 상호유도 기전력 측정방식 등이 있다 [4-7]. 상기 방식에서 개루프 제어방식 및 상전류 검출에 의한 위치각 추정방식은 간단하고 경제적이다. 개루프 제어방식은 고토포크를 발생하기 위하여 도통각을 크게할 경우 부토포크가 발생하여 효율이 감소하게 되며 또한 도통각을 줄게할 경우 효율은 개선되지만 제어의 안정성이 저하된다. 상전류 측정에 의한 순시 기전력 검출방식은 저속에서는 제어가 어렵고 인덕턴스 변화량 검출방식은 전류초평 구간에서 발생하는 고조파를 포함한 상전류의 변화율로 인하여 회전자 위치각 정보의 신뢰성이 저하되는 문제가 발생되며 비여자된상에 펄스신호를 인가하는 경우에는 부토포크가 발생하고 회로구성이 복잡하게 된다. 본 논문에서는 센서리스 SRM의 안정된 속도제어 시스템을 설계하기 위하여 회전자 위치 검출을 상전류 및 변화율 검출로부터 구하였으며 도통각 조절을 이용한 속도제어 시스템을 제안하였다. 설계된 SRM의 속도제어 시스템은 실험을 통하여 성능을 검증하였다.

### 2. SRM 동작

4상 8/6극 SRM의 구조와 스위칭 회로는 그림 1과 같으며 한상의 스위칭 구성을 나타낸다. 선형구간에서 자속은 식(1)과 같다. 또한 회전자 위치에 대한 4상 SRM의 이상적인 인덕턴스 곡선은 그림 2와 같다.

$$\lambda = L(\theta)i \quad (1)$$

SRM에서 전기-기계 에너지 변환은 그림 2와 같이 회전자의 위치각에 대한 인덕턴스 변화에 의해서 결정된다. SRM의 동작은 각상의 전압과 발생토크 방정식에 의해서 나타낼 수 있으며 저항에 의한 전압강하와 포화특성을 무시하면 상전압은 식(2)와 같고 여기에서 인덕턴스는 회전자 위치각의 함수이다. 이때 각상에서의 순시전력은 식(3)과 같고 순시토크는 식(4)와 같다.

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (2)$$

$$\text{단, } \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$p = Li \frac{di}{dt} + i^2 \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (3)$$

$$T = \begin{cases} 0 & -\theta_1 \leq \theta \leq 0 \\ \frac{1}{2} K i^2 & 0 \leq \theta \leq \beta_s \\ 0 & \beta_s \leq \theta \leq \beta_r \\ -\frac{1}{2} K i^2 & \beta_r \leq \theta \leq \beta_r + \beta_s \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{단, } K = (L_{\max} - L_{\min})/\beta_s$$

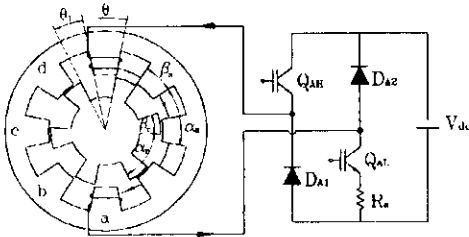


그림 1. 4상 SRM 단면 및 스위칭 회로  
Fig. 1 Cross-section of a four-phase SRM and switching circuit

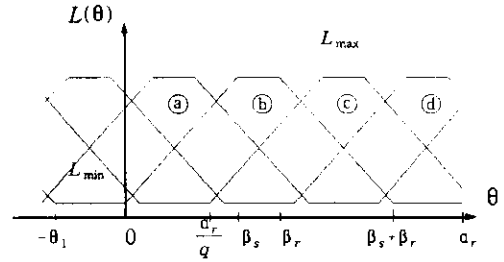


그림 2. SRM의 이상적인 인덕턴스 곡선  
Fig. 2 Idealized inductance profile of SRM

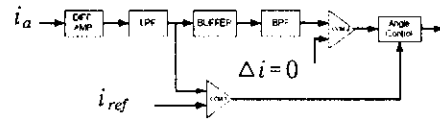


그림 3. 회전자 위치검출  
Fig. 3 Rotor position detection

자의 위치정보를 구할 수 있다. 식(5)에서 저항에 대한 전압강하와 기전력이 무시된다면  $di/dt$  와  $i$ 의 관계식으로 나타낼 수 있으며 따라서 상전류변화율 검출에 의해서 상인덕턴스 변화에 대한 정보를 구할 수 있고 회전자의 위치검출 알고리즘은 그림 3과 같다.

$$\frac{di}{dt} = \frac{v - Ri - \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt}}{l} \quad (5)$$

단,  $l$  은 상인덕턴스

### 3.2 도통각 제어

도통각 제어범위는 그림 4에서 B와 C구간이 되고 중복각 제어범위는 D구간이 된다. 이때의 도통각 제어는 상전류신호에 의해서, 부토크는 전류변화율에 의해서 도통각이 결정된다. 즉 도통각을 상전류와 전류변화율을 측정하여 최적으로 제어함으로써 제어 안정성과 효율을 개선한다.

### 4. 실험결과 및 검토

본 연구에서 제시된 센서리스 SRM 구동시스템의

## 3. 센서리스 제어방식

### 3.1 회전자 위치검출

센서리스 SRM의 속도제어를 위해서는 식(5)와 같이 전류변화율을 측정하여 인덕턴스를 추정함으로써 회전

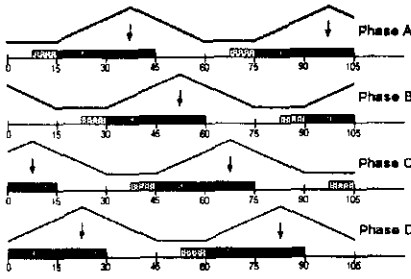


그림 4. 도통각 제어

Fig. 4 Dwell angle control

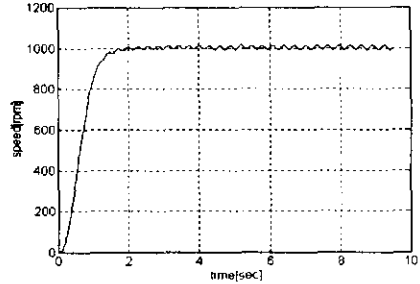


그림 7. 속도응답특성

Fig. 7 Speed response characteristics

성능을 검증하기 위하여 그림 5와 같이 센서리스 SRM의 실험장치를 구성하였다. 제안된 속도제어 시스템은 속도보상을 위한 PI 제어기, 단상 속도신호를 4상으로 변환하는 상변환회로, 각상의 도통각을 결정하는 디지털 논리 정류자(DLC), 상전류 검출에 의한 위치각 검출회로, 전류초평화회로, 도통각 제어기(DAC)와 4상 전압제어형 인버터로 구성된다. 속도명령이 1000rpm 일 때의 상전압과 상전류 파형은 그림 6과 같고 이때의 속도응답은 그림 7과 같다.

5. 결론

본 연구에서는 상전류와 상전류 변화율에 의한 위치각 결정 알고리즘과 가변속도에 대한 도통각 제어방식을 제안하여 센서리스 SRM의 안정된 속도제어 시스템을 구현하였으며 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 제안된 센서리스 알고리즘의 회로구성에서는 경제성 및 고조파로 인한 회전자 위치각 정보의 신뢰성이 저하되는 문제를 고려하였다.

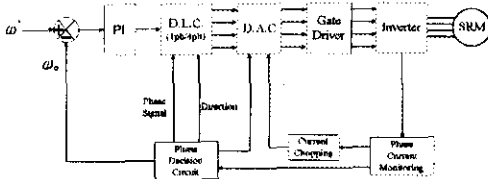


그림 5. 센서리스 SRM의 구동시스템

Fig. 5 Drive system of sensorless SRM

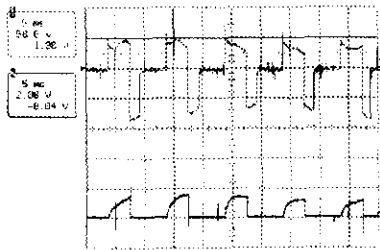


그림 6. 상전압과 상전류파형(1000rpm)

Fig.6 Phase voltage and current waveform(1000rpm)

참고문헌

- [1] Y.A.Kwon and K.Reichert, "Choppingless Operation of a Nonlinear Switched Reluctance Motor", Int. Conf. on Evolution and Modern Aspects of Synchronous Machines, pp.451~454, 1991.
- [2] Y.A.Kwon, "Computation of Optimal Excitation of a Switched Reluctance Motor Using Variable Voltage", IEEE Trans. IE-45, no.1, pp.177-180, 1998.
- [3] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford Univ. Press, 1993
- [4] P. P. Acarnley, R. J. Hill and C. W. Hooper, "Detection of Rotor Position in Stepping and Switched Reluctance Motors by Monitoring of Current Waveforms", IEEE Trans., IE-32, no.3, pp.215-222, 1985.
- [5] J.T. Bass, M. Ehasani and T.J.E. Miller, "Robust Torque Control of Switched Reluctance Motor Without a Shaft-Position Sensor", IEEE Trans., IE-33, no.3, pp.212-216, 1986.
- [6] A. Lumsdaine and J. H. Lang, "State Observers for Variable-Reluctance Motors", IEEE Trans, IE-37, no2, pp.133-142, 1990.
- [7] I. Husain and M. Ehsani, "Rotor Position Sensing in Switched Reluctance Motor Drives by Measuring Mutually Induced Voltages", IEEE Trans., IA-30, no.4, pp.665-672, 1994.