

# 원칩 마이컴을 이용한 스위치드 리럭턴스 전동기의 속도제어

신규재  
순천제일대학 기계전기제어과

## Speed Control of Switched Reluctance Motor Using the One Chip Micro-Computer

Kyoo Jae Shin  
Dept. of Mechanical & Electrical Control, Suncheon First College  
E-mail : kyoojae@first.suncheon.ac.kr

**Abstract** - This paper investigates the speed control of Switched reluctance motor(SRM) using one chip microcomputer. The SRM has the advantages of simple structure, low rotor inertia, and high efficiency. The position sensor is essential in SRM in order to synchronize the phase excitation to the rotor position. The proposed system consists of phase locked loop controller, switching angle controller and inverter. The performances in the proposed system are verified through the experiment.

시스템은 PIC16 계열의 원칩 마이컴을 이용하여 제작하였고 실험을 통하여 성능을 검증한다.

### 2. SRM 동작

4상 8/6극 SRM의 구조와 스위칭 회로는 그림1과 같으며 a상의 스위칭 구성을 나타냈다. 선형구간에서 자속은 식(1)과 같다. 또한 회전자 위치에 대한 4상 SRM의 이상적인 인덕턴스 곡선은 그림2와 같다.

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

### 1. 서 론

스위치드 리럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 회전자에 권선이나 영구 자석이 없으므로 제작비용이 저렴하고 회전자 관성이 작으며 넓은 범위의 속도에서 고효율 운전이 가능할 뿐만 아니라 구동회로가 간단한 점등 여러가지 장점을 가지는 전동기이다[1,2]. SRM의 속도제어를 위해서는 회전자의 위치각에 대한 정보가 필수적이므로 위치각 정보를 검출하기 위한 센서로서 옵토센서 또는 엔코더가 일반적으로 사용되고 있다[3].

속도제어방식에서 고토오크를 발생하기 위하여 도통각을 크게 할 경우 역토포크가 발생하여 효율이 감소하게 되며 도통각을 좁게 할 경우 효율은 개선되지만 제어의 안정성이 저하된다. 따라서 최적의 도통각 제어를 위해서는 제어회로구성이 복잡하여 제어기의 가격이 상승하는 문제가 발생하게 된다[4]. 그러므로 본 논문에서는 마이크로칩사의 PIC16 계열의 저가형 원칩 마이컴을 이용하여 SRM의 속도제어 시스템을 설계하고자 한다. 속도제어는 기준 명령신호와 엔코더로부터 검출된 속도신호와의 위상차에 의하여 도통각 주기폭을 변동하는 위상 고정형의 속도제어 시스템을 제안하였다. 설계된 SRM의 속도제어

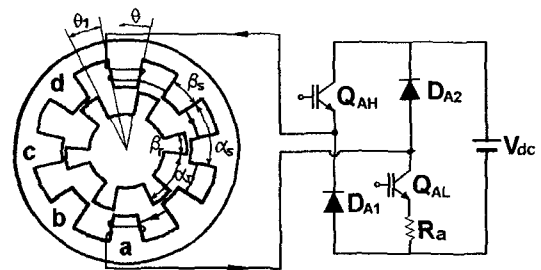


그림1. 4상 SRM 단면 및 스위칭 회로  
Fig.1 Cross-section of a four-phase SRM and switching circuit

SRM에서 전기-기계 에너지 변환은 그림2와 같이 회전자의 위치각 변화에 대한 시변 인덕턴스에 의해서 결정된다. SRM의 동작은 각상의 전압과 발생토포크 방정식에 의해서 나타낼 수 있으며 저항에 의한 전압강하와 포화특성을 무시하면 상전압은 식(2)와 같고 여기서  $L$ 은 회전자 각변위의 함수이다. 이때 순시전력은 식(3)과 같다.

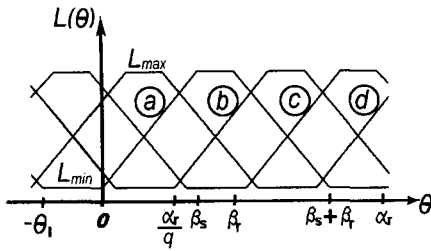


그림2. SRM의 이상적인 인덕턴스 곡선  
Fig.2 Idealized inductance profile of SRM

$$v = \frac{d\lambda}{dt} \quad (2)$$

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

단,  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

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

여기서 회전자 각속도는 일정한 상수  $\omega$  로 가정하면 식(3)은 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$p = \frac{1}{2} L(\theta) \frac{di^2}{dt} + \omega i^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta)}{dt} - \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{2} L(\theta) i^2 \right] + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (4)$$

식(4)는 저장에너지의 미분치와 발생 토오크의 합으로 나타낼 수 있고 여기서 발생 토오크는 식(5)와 같다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (5)$$

식(5)를 한 상에 대한 순시토오크로 나타내면 식(6)과 같다.

$$T = \begin{cases} 0 & -\theta_1 \leq \theta \leq 0 \\ \frac{1}{2} K i^2 & 0 \leq \theta \leq \beta_s \\ 0 & \beta_s \leq \theta \leq \beta_r \\ -\frac{1}{2} K i^2 & \beta_r \leq \theta \leq \beta_r + \beta_s \end{cases} \quad (6)$$

식(6)에서 비정렬구간 ( $-\theta_1 \leq \theta \leq 0$ )과 정렬구간 ( $\beta_s \leq \theta \leq \beta_r$ )에서는 토오크가 발생하지 않으며 인

덕턴스가 증가하는 구간 즉  $\frac{dL}{d\theta} > 0$ 에서는 정토오크가 발생되고 인덕턴스가 감소하는  $\frac{dL}{d\theta} < 0$ 에서는 부토오크가 발생하게 된다. 또한 부토오크를 억제한 경우 발생 토오크는 전류의 면적분에 비례하므로 평균 토오크  $T_{av}$ 는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{av} = \frac{q}{\alpha_r} \int_{-\theta_1}^{\alpha_r - \theta_1} T d\theta \quad (7)$$

단,  $q$  : SRM의 상수

SRM의 동작은 식(6)과 같이 상인덕턴스가 증가하는 구간에서 상권선을 통전하여 정토오크를 발생하고 상인덕턴스가 감소하는 구간에서 상권선을 소호시킴으로써 일정방향의 토오크를 얻게되며 동일방향의 연속적인 상여자신호에 의해서 전기에너지는 기계에너지로 변환하게 된다. 따라서 회전자 위치각에 적절한 상여자 신호를 동기화시킴으로써 토오크를 발생시킬 수 있다.

### 3. 제안된 SRM 구동시스템

#### 3.1 도통각 제어

도통각을 결정하기 위하여 먼저 SRM이 일회전하는데 필요한 분해각을 설정하고 가변 운전조건에서 역토오크를 억제할 수 있도록 도통각이 결정되어야 한다. 본 연구에서 사용되는 4상, 8/6극 SRM 회전자의 엔코더로부터 1회전에 24스텝의 위치신호가 필요하며 이신호의 한스텝에 대한 각도는  $15^\circ$ 가 된다. 그리고 도통각 신호에서 고토오크를 발생하기 위하여 도통각을 크게할 경우 역토오크가 발생하여 효율이 감소하게되며 또한 도통각을 좁게할 경우 효율은 개선되지만 제어범위가 저하된다. 도통각 제어를 위하여 그림3과 같이 A,B,C,D의 4구간으로 분류하여 4상에 대해 연속적인 신호를 발생하게 한다.

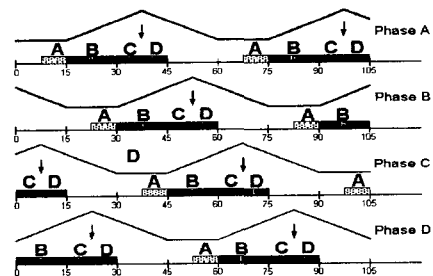


그림3. 도통각 제어  
Fig.3 Dwell Angle Control

### 3.2 속도제어

안정된 속도제어 시스템을 구성하기 위하여 구형과 펄스형태의 속도명령에 의하여 상권선의 여자신호를 발생한다. 엔코더 출력신호에 의하여 회전자의 위치결정을 하며 또한 속도출력이 피드백이 된다. 이신호는 카운터에 의하여 속도명령과 주기폭이 비교되어 속도오차를 보상하게 된다. 또한 회전각보상은 각 오차에 의하여 그림3의 A구간 도통신호의 점호각이 보상되며 소호각은 다음 상의 온주기를 카운트하여 부토크 발생하는 D구간 이전에 결정된다. 따라서 급가변속 제어 및 부하인가 시에 발생할 수 있는 탈조 문제를 해결할 수 있다.

### 4. 실험결과 및 검토

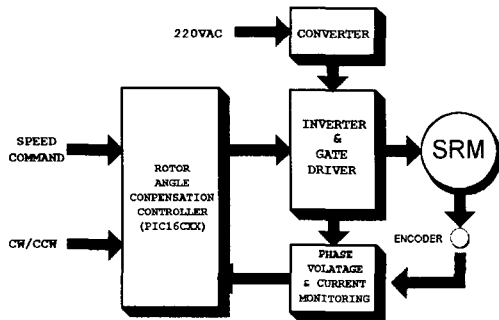


그림4. SRM 구동제어 시스템  
Fig.4 SRM Driving Control System

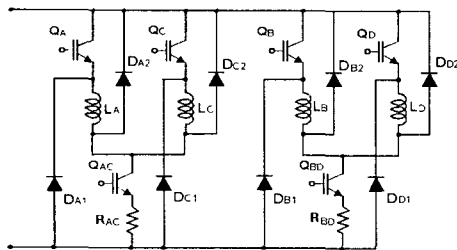


그림5. 4상 SRM 인버터  
Fig.5 4 Phase SRM Inverter

설계된 SRM 구동시스템의 성능을 검증하기 위하여 그림4와 그림5와 같이 실험장치를 구성하였다. 제안된 속도제어 시스템은 PIC16C 계열 원칩 마이컴을 이용하여 기준 상신호 발생기, 속도 및 회전각 보상, 각상의 도통각을 보정한 스위칭각 제어, 상전류 검출에 의한 전류초평회로와 4상 전압제어형 인버터로 구성된다. 설계된 시스템의 속도응답 결과는 그림6과 같고 속도명

령과 속도출력신호는 그림7과 같다. 여기서 속도출력신호는 1회전당 24개의 펄스를 발생한다.

### 5. 결 론

본논문에서는 원칩 마이컴을 이용하여 SRM의 안정된 속도제어를 구현하였다. 엔코더에 의한 위치각 결정 및 회전각 보상방식 알고리즘을 제시하고 상신호의 카운터에 의하여 도통각의 주기폭을 변동하는 속도제어 시스템을 제안하였다. 제안된 센서리스 알고리즘은 원칩 마이컴으로 설계되어 회로구성이 간단하여 경제성이 뛰어난 장점을 가진다. 그리고 제안된 SRM 센서리스 속도제어 시스템은 실험을 통하여 안정된 성능과 추종성이 우수함을 확인하였다.

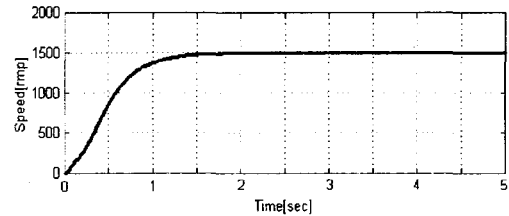


그림 6. 속도응답(1500rpm)  
Fig.6 Speed Reponse Characteristics

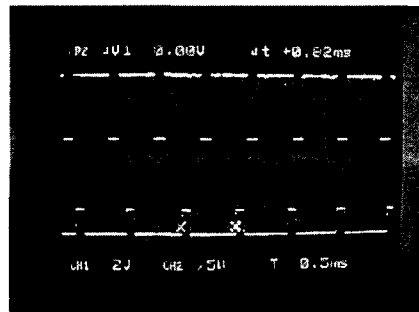


그림7. 속도명령신호와 속도출력신호(3000rpm)  
Fig.7 Speed Command and Speed Output Signal(3000rpm)

### [참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford Univ. Press, 1993
- [2] S. Vukosavic et al., "SRM Inverter Topologies: A Comparative Evaluation", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.27, No.6, 1991
- [3] C.C.Chan, "Low Cost Electronic-Controlled Variable Speed Reluctance Motors", IEEE Tran. on Ind. Elec. vol.27, IE-34, No.1, 1987
- [4] B.K.BOSE et al., "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motors", IEEE Trans. on Ind. Appl. vol.IA-22, No.4 1986