

## 원 칩 마이크로프로세서를 이용한 SRM의 가변속 제어

최기원 \* 이춘호 김기수 최규하 장도현 \*  
 건국대학교 전기공학과 \*호서대학교 전기공학과

### One Chip Microprocessor-based Adjustable Speed Control System of Switched Reluctance Motor

Ki-Won Choe \* Chun-Ho Lee Ki-Su Kim Gyu-Ha Choe Do-Hyun Jang \*  
 Dept. of Electrical Eng. Konkuk University Dept. of Electrical Eng.\* Hoseo University

**Abstract :** This paper describes the practical implementation of switched reluctance motor drive for a wide range of operation speeds. The angle controller is designed by one-chip microprocessor 8051 for various real time applications. Algorithm to control the speed of SRM and to maintain the speed under the changed load is proposed.

의 상을 어지릴 경우 같은 원리에 의하여 고정자와 일치 하려는 방향으로 회전력을 받게 된다. 이러한 어지 순서를 순차적으로 하게 되면 회전자는 연속적인 회전력을 받게 되는 것이다. 따라서 SRM의 회전에 의해서 토오크가 발생하며 이 둘리 기계적인 에너지를 받게 된다. 자기 포화가 없는 경우 순서토오크는 식(1)과 같이 표현된다.

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

#### 1. 서론

최근 다양한 속도 조절이 요구되는 분야에서 관심의 대상이 되고 있는 것이 스위치드 릴럭턴스 모터(Switched Reluctance Motor : 이하 SRM)이다. SRM은 고정자와 회전자 모두가 돌극형 구조로 되어 있으며 극(Pole)수는 각각 다르다. 특히, 고정자 부분에만 권선이 되어 있고, 회전자에는 어떠한 형태의 권선이나 영구자석도 존재하지 않는 간단한 구조로 되어 있다. 따라서 모터의 제작이 쉬우며 회전자의 토오크/권선 비가 크다. SRM의 구동을 위한 컨버터는 단방향성의 컨버터로 동작이 가능하기 때문에 컨버터의 제작이 다른 교류전동기에 비하여 비교적 쉽다.

SRM 구동에 있어서 가장 중요한 요소는 모터의 회전에 따른 각상의 인덕턴스 변화이다. 이것은 회전자의 위치 센서 신호로부터 얻을 수 있다. 그러나, 위치 센서로부터 얻은 신호로부터 제어할 수 있는 속도 제어는 4점으로 한정되어 있어 넓은 범위의 속도 제어는 불가능하다.(5)

본 논문에서는 원칩 마이크로 프로세서 8051을 이용하여 위치 센서로부터 얻은 신호에 의해 상 스위치의 턴 온, 턴 오프 각을 제어하여 넓은 범위의 속도 제어를 가능하게 하고자 한다. 또한 부하가 변화더라도 일정 속도를 유지하고 토오크 리플을 최소화하기 위한 알고리즘을 제시하였다.

#### 2. SRM의 기본 원리

SRM의 기본 동작 원리는 자기회로의 법칙을 따르고 있다. 회전자와 고정자 사이의 자기저항의 변화를 이용하여 회전력을 얻는다. 즉, 한 상의 고정자 권선에 전압을 인가하면 권선과 회전자 돌극사이에는 자기회로가 형성된다. 이때 회전자의 극은 자기회로의 저항이 감소하는 방향으로 움직이게 된다. 어느 한상의 권선이 어지 되면 급접한 회전자는 어지 된 고정자와 일치하려는 방향으로 움직이게 된다. 이때, 인덕턴스는 최대가 된다. 아울러, 기존의 어지 되고 있는 상이 회전자와 완전히 일치하기 전에 인가 전압을 오프 시키고, 다음

T : 토오크 i : 전류 L : 인덕턴스  $\theta$  : 회전자의 위치

그림 1에서 보는 바와 같이 토오크는 회전자의 위치에 따라 상,역 토오크가 발생된다.

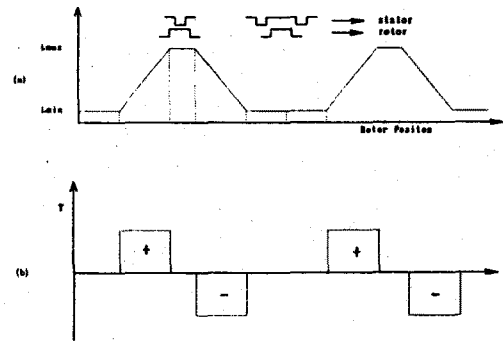


그림 1. (a) 인덕턴스 (b) 토오크

#### 3. SRM의 구동 컨버터

SRM을 구동시키기 위한 컨버터들은 많이 연구 개발되어 왔다. 개발된 컨버터들은 모터의 상수나 응용 범위나 용도에 따라 적절하게 선택되어야 한다. 이 논문에서 사용된 컨버터는 그림 2와 같이 일반적으로 많이 사용되는 비대칭형 컨버터(Asymmetric Bridge Converter)이다. 이것은 SRM 컨버터들 중에서 제어의 다양성이 가장 뛰어나며 각상의 전류 제어가 독립적이어서 전류의 중점이 가능하고 빠른 어지 제기와 전류 추종을 할 수 있다. 그러나, 상당 스위치가 두 개라는 점과 이에 따라 제어 및 구동 회로가 증가하고, upper level 스위치에 대한 구동 전원을 각각 절연 시켜야 하는 단점 때문에 상수가 많은 모터나 높은 효율을 필요로 하는 분야에서는 비경제적이다.

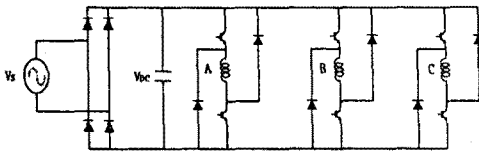


그림 2. 비대칭형 브리지 컨버터

#### 4. 위치 센서에 의한 속도 제어

##### 4.1 위치 센서

그림 3은 전체 시스템의 블록 다이어그램이다.

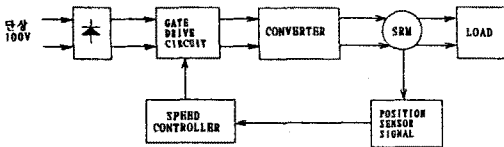


그림 3. 전체 시스템의 블록 다이어그램

모터의 회전에 따라 속도 등의 특성을 가변 시키기 위해서는 점화각과 도전각을 조절해야 하는데 이를 위해서는 반드시 회전자의 위치를 검출하는 위치 센서가 필요하다. 본 논문에서는 그림 4(a)와 같은 회전자형 위치 센서를 사용하였다. 이것은 회전자의 절대 위치를 알 수 있고, 상여지를 위한 신호 처리 회로를 최소화할 수 있으나 위치 검출 분해능이 낮다. 6/4극 SRM의 경우 상여지는 30° 간격으로 전류(Commutation)해야 하므로 옴토인터럽터는 이 간격으로 위치해야 한다. 회전자의 절대 위치를 검출하기 위해서는 최소한 3개의 옴토인터럽터가 필요하다. 그림 4(b)는 상 인덕턴스이고, 4(c)는 위치 센서의 출력이다. 그림 4 (d)는 정상 속도(NORMAL)시, 고속(BOOST)시, 초고속(LONG DWELL)시, 정지(FB)시의 모드별 게이팅 신호이다. 따라서 회전자형 위치 센서의 신호로부터는 3가지 형태의 토크 제어만이 가능하다.

##### 4.2 원 칩 마이크로프로세서에 의한 가변속 제어

위치 센서에서 연속적으로 검출되는 회전자의 위치신호로부터 속도 제어를 하기 위하여 점화각과 도전각을 속도 변화에 따라 가변 시키어야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 과정을 수행함에 있어서 특별한 회로 구성이나 논리를 사용하지 않고 8051을 이용하여 간단히 구현 하고자 한다. 8051 마이크로프로세서 내부의 타이머/카운터 모드2를 이용하여 2개의 카운터를 동시에 사용한다. 그림 5는 간략화 된 그림이다.

그림 6은 8051 내부 세이 알고리즘에 대한 블록 다이어그램이다.

먼저, 모터에 전원이 인가되면 초기 펄스에 의해서 카운터 T0, T1은 초기화 된다.

카운터 T0는 SRM이 회전할 때 구동 펄스가 인가되면 입력 속도에 맞게 한상의 주기가 회전자 위치 센서로부터 출력되는 지를 판별하기 위한 카운터이다. T0는 입력 속도의 한상 주기를 K0로 한산하여 다른 카운터 한다.

카운터 T1의 K1은 한상의 도전각을 결정하는 카운터 값이다. K1은 역 토크 발생으로 인한 평균토크 감소가 생기지 않게 초기에 잘 선정하여야 한다

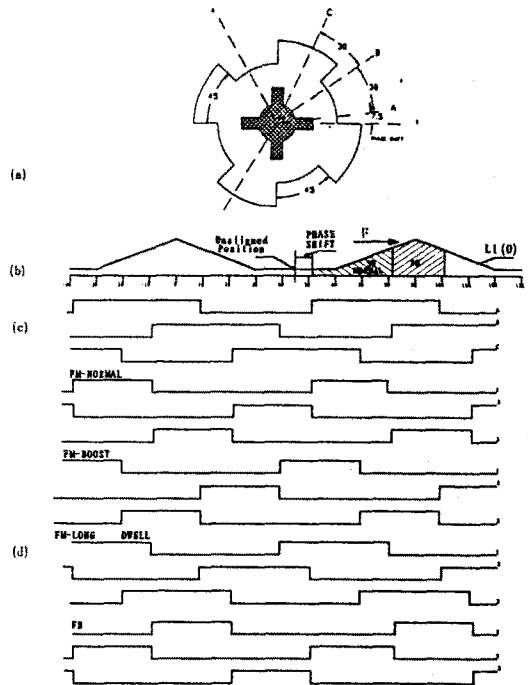


그림 4. SRM의 인덕턴스 및 위치 센서의 신호



그림 5. 간략화된 가변속 제어 블록 다이어그램

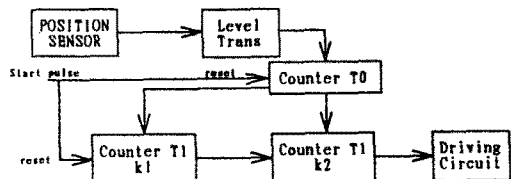


그림 6. 8051 세이 블록 다이어그램

카운터 T1의 K2는 한상의 여지가 끝나고 다음 상이 여지 될 때까지의 시간 지연을 결정하는 카운터 값이다. 만약 모터의 현재 속도가 우리가 원하는 입력 속도보다 빠르면 K2의 값은 커지고 속도가 느리면 K2의 값은 작아진다. 그림 7은 카운터 T0, T1의 K0, K1, K2의 값을 나타내는 그림이다.

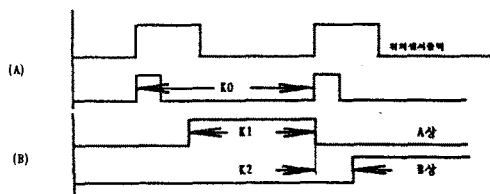


그림 7. (a) T0의 값 K0 (b) T1의 값 K1, K2

시간 지연 K2는 T0의 K0값에 의해서 가변 된다. 카운터 T0의 K0는 우리가 초기에 설정한 값을 다른 카운터를 한다. 만약 모터가 입력 속도로 회전하고 있으면 카운터 T0의 K0값은 0이 되어 카운터 T1의 K2 초기 설정 값은 변하지 않는다. 그러나 순간적인 부하의 경감이 발생하여 모터의 회전속도가 상승하게 된다면 K0의 값이 0이 되기 전에 인터럽터 신호를 받게 되어 K0에는 양의 값이 남게 된다. 이때 T0는 K0의 값을 카운터 T1의 K2로 전달하여 K2값이 초기 설정 값보다 많아져서 결국 시간 지연을 증가시킨다. 따라서 다음상의 점호각은 K2가 증가한 만큼 뒤로 밀려나게 되므로 속도는 감소하여 우리가 초기에 설정한 속도로 돌아 오게 된다.

반대로 부하의 갑작스런 증가로 인하여 속도가 감소하면 카운터 T0의 K0는 0이 되어도 위치 센서로부터 인터럽터 신호를 받지 못한다. 그러면 K0는 캐리 하나를 빌려서 다시 초기 설정 값부터 시작하여 인터럽터 신호가 발생할 때까지 카운터를 계속 한다. 인터럽터를 받게 되면 그때의 값에서 카운터 인하여 K0의 초기 설정 값까지의 카운터 값을 K2에 보낸다. K2는 초기 값에 K0로부터 받은 값을 보상하여 시간 지연을 감소시킨다. 결국 점호각을 앞당기게 되어 속도는 가속되고 초기에 설정된 속도에 도달하게 된다.

그리고 K0의 다른 카운터 값이 K2의 초기 설정 값의 절대치 보다 크게 되면 도전각을 카운터하는 K1의 값을 변경해야 한다. 그림 8은 가변속 제어의 흐름도이다

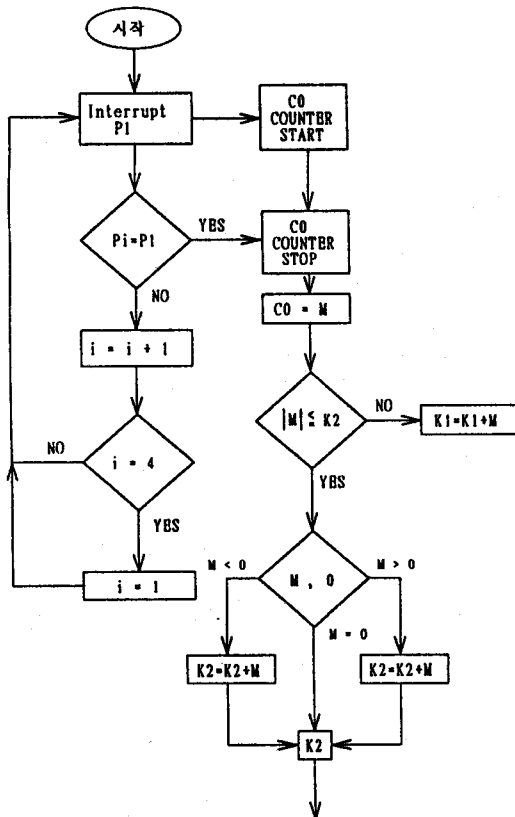


그림 8. 가변속 제어의 흐름도

SRM의 회전에 따라서 위치 센서의 출력으로부터 회전자의 위치를 나타내는 8비트의 데이터가 연속적으로 출력되면 이것은 8051 내부 프로그램에 의해서 모터의 회전 방향과 점호각, 도전각이 결정된다. 결정된 데이터들은 8051의부 출력 핀을 통하여 출력된다. 출력된 데이터들의 high,low신호는 모터의 각상들을 어저 시키기 위한 신호로 사용되어지므로, 8051 내에 원하고자 하는 방식으로 제어가 가능하도록 점호각과 도전각을 결정하여 테이블만 저장하여 놓으면 간단하게 어저 할 상과 속도를 조절 할 수 있다. 그림 9는 SRM이 입력 속도로 회전하고 있을 때의 제어 알고리즘이다.

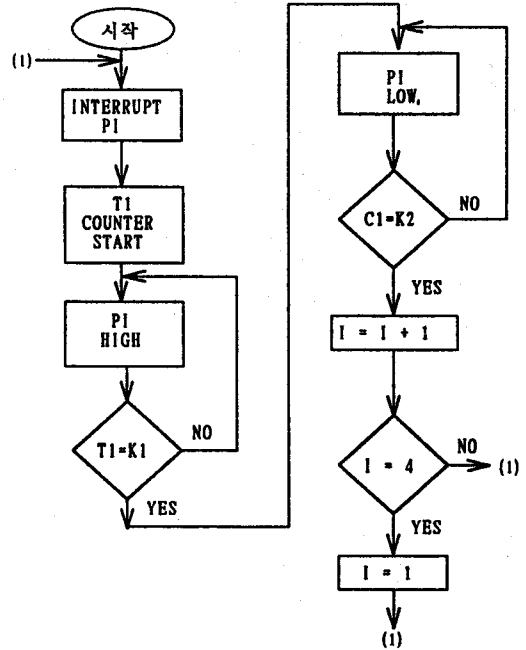


그림 9. 일정속도제어를 위한 제어 알고리즘

### 참고 문헌

1. B.K. Bose, T.J.E. Miller, P.M. Szczyzny and W.H. Bicknell, "Microcomputer control of switched reluctance motor," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. IA-22, No.4, pp. 708-715, July/Aug. 1986
2. C. Jimas and H. Zelaya D. La Parra "A DSP Controlled Switched Reluctance Drive System for Wide Range of Operating Speeds," IEEE-IAS, 1992.3
3. 안 영주, 조 철재, 안 진우, 황 임문 "SRM 구동용 전자식 위치 감출기의 개발", 전기학회 논문지 44권 2호 1995.2
4. G. H. RAM AU AL., "A New Converter Topology for Switched Reluctance Motor Drives for Variable Speed Application.", KITE Conference Record, No.1 pp 54-56, 1993
5. ROGER CARLOS BECERRA "NEW TECHNOLOGES FOR SIMPLER ADJUSTABLE SPEED BRUSHLESS MOTOR DRIVES.", pp. 110 - pp.135 1989.12