Switched Reluctance Motor Drive 의 구동특성

°오 석규* 안 영주* 추 영배* 이 일천** 황 영문*
* 부산대학교 ** 동명전문대

Driving Performance of Switched Reluctance Motor Drive

Oh Suk-Gyu, An Young-Joo, Choo Young-Bae, Lee Il-Chun Hwang, Young-Moon
Pusan National University , Dongmyong Junior College

Abstract--Many industrial applications require high facultied and high efficiency motor drives. Recently, as such motor driving system, switched reluctance motor (S R M) drives are proposed. This paper describes the design features, drive circuits, and performance of 6/4 S R M for high efficiency variable speed drives. The main advantages of these motors lie in high efficiency, simple driving circuitry, and low manufacturing cost. The prototypes have been built and tested, showing satisfactory performance.

1. S R M Drive 의 效用性

최근에 와서 각종 기능센서 및 컴퓨터 등의 첨단기술의 접목으로 고기능·고성능의 전동기구의 수요가 급격하게 증가하는 추세에 있다. 소비자의 욕구를 충족시키기 위하여 저소음, 편리성, 쾌적성, 다양성 및 경제성을 고려한 다기능성의 전동시스템으로서는 반도체소자를 활용한 동기전동기형 싸이리스터모우터, 전력용 영구자석을 활용한 브럿쉬레스 모우터, 벡터제어이론을 적용한 가변속 유도모우터 등의 실용화개발이 이루어지고 있으며, 그 결과 다기능화 및 효율향상에는 다소 기여하여 이를 적용한 고가의 제품이 시판되고 있지만 가격면에서는 고가인 관계로 범용성을 갖지 못하여 범용유도전동기에의 적용대체가 아직도 이루어지고 있지 못한 상태이다.

이러한 상황에서 80년대 후반에 그 실용성이 입증되고 개발 및 실용화가 활발히 이루어지고 있는 S R M 전동시스템은 다음과 같은 잇점에 의하여 전동기구의 다기능 및 고효율화의 수요에 편승하여 2,3년내 전반적으로 실용이 확대될 것이 예상되고 있지만, 국내에서는 아직 이 분야에 대한 연구개발실적이 없어 하루 빨리 이에 동참하여 실용화개발이 이루어져야 할 것으로 믿어진다. 즉, S R M 시스템은

(가) 전동기의 회전자에 권선이 없어 구조가 각종전동기 중에서 가장 간단, 견고하며 제작비가 20~30%절감된다.

(나) 토오크특성이 우수한 Stepping전동기의 고유특성을 가지므로 제어성이 강하면서 동시에 간단한 인버어터회로에 의하여 큰 제어영역과 제어성을 확보할 수 있어 고기능화에 유리하다.

(다) 전동기의 효율이 높고 인버어터회로에의 스윗칭손실이 적어 시스템전체로서의 효율이 크게 향상된다.

(라) 구동용 회로가 간단하고 전력용소자의 수를 줄임으로써 구동회로에 대한 비용이 기존의 전동시스템에서의 구동회로에 비하여 절감된다.

이와 같이 S R M 전동기구의 잇점 때문에 현재 선진국에서는 이미 10년이상의 연구개발을 통하여 소형으로서는 가전기기와 자동차용 전장품을 중심으로 실용화하고 있고 특히 최

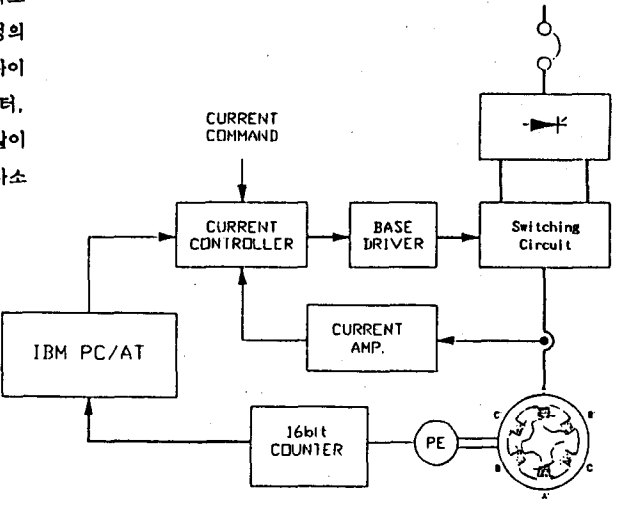

Fig.1 Configuration of S R M drive

근에 주목되고 있는 전기자동차 구동용 전동기구로써 가장 유력시 되고 있으며 막대한 전동기구시장에 있어 단시간에 상당한 비중을 차지할 것으로 보인다. 따라서 국내에서도, 이러한 세계적인 S R M 전동시스템의 개발 및 실용화연구에 신속히 편승하여 고기능 및 고효율 전동기구 시스템에 대한 수용의 급증에 부응하여야 할 것으로 믿어진다.

이 S R M 의 자기회로의 구조는 double salient pole type을 하고 있으며, stator / rotor는 극수가 10/4, 8/6, 6/4로 된 간단한 철심적층구조를 가지고 있고 권선은 stator pole에만 집중권으로 한 간단한 권선구조로 되어 있어 제작 및 생산성이 유리하다. 그리고 전동기 가변특성을 위한 commutation action은 반도체 switching회로에서 적절히 조절함으로써 이루어지고 자기회로 및 switching회로간의 chopping matching이 잘 이루어지도록 함으로서 기변범위가 넓고 효율이 좋은 속도-토오크특성을 갖게 한다.

현재까지 개발된 연구결과에 의하면 스위칭noise 및 ripple 토오크의 제거가 개발과제로 되어 있으며 pole position sensing의 기술개발이 추진되고 있다.

2. Variable reluctance motor 의 Structure profile

S R M drive 시스템은 전동기의 자기적 토오크의 발생에서 reluctance 토오크를 극대화한 자기회로와 이를 위한 chooping power 를 효과적으로 energy 변환시키게 하는 switching 회로와 control 회로로 구성된다.
그리하여 energy flow인

$$vi = \frac{d}{dt}\left[\frac{1}{2}L(i)\,i^2\right] + \frac{i^2}{2}\frac{d\,L(i)}{dt}\omega \quad \cdots\cdots (1)$$

의 energy 변환관계가 효과적으로 이루어지도록 시스템을 구성하여야 한다.

여기에서 식(1)의 첫번째 항은 자기적구조와 switching 회로사이에서 교환되는 여자에너지이며, 두번째 항은 기계적 출력항이다. 그러므로 S R M 의 고효율화 및 실용화의 성공여부는 variable reluctance 에 의한 variable inductance L(i) 를 매개로 하는 여자에너지 [1/2 L(i)i²] 의 효과적인 energy flow, 즉 switching 회로와 자기회로와의 energy matching 이 효과적으로 이루어지도록 시스템을 구성하여야 한다.

기계적출력을 극대화 하기 위하여는 variable inductance L(i) 의 극대화가 전제가 되는 데, 우선 $L_{max.}(i,\theta)$ - $L_{min.}(i,\theta)$ 를 크게 하기 위하여 자기회로의 structure profile의 검토가 필요하다. $L_{max.}$ 및 $L_{min.}$의 값은 그림 2와 같은 자기적 구조에서 공극의 크기, 자기재료의 포화특성, 누설 reactance, Ampere-turn 의 적정치 및 각 권선간의 mutual inductance 의 극소화 등에 의하여 크게 좌우된다.

한편, S R M 의 실용화에 가장 큰 장애가 되는 점으로 출력토오크에서의 ripple 토오크의 발생이다. 이를 억제하기 위한 방안으로는 switching 회로에서의 스위칭 동작의 조정에 크게 의존한다. 그러나 이들은 V R M 에서의 자기적 여자에너지의 변환에 의한 chopping전류에 의하여 크게 좌우가 됨으로 이들 고려한 structure profile 의 해석 [2]이 선행되어야 한다.

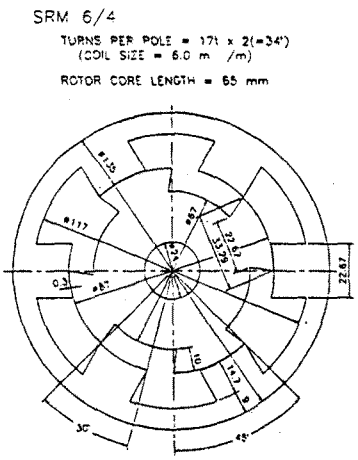

Fig.2, Structure profile of 6/4 V R M

본 연구에서는 이상과 같은 점을 고려한 다음과 같은 V R M 의 설계정수에 의한 6/4 S R M 에 대하여 설계제작한 결과를 실험적으로 해석코저 한다.

상 수	: 3상
극 수	: 고정자 6극, 회전자 4극
극 호 각	: 고정자 30°, 회전자 45°
공극의 직경	: 87 mm
공극의 축방향길이	: 65 mm
고정자 권선	: 17/34 turn/pole
정격회전수	: 900 r.p.m / 3600 r.p.m
정격전압	: DC 305 V

3. S R M 구동시스템의 구성

V R M 에서의 토오크발생은 chopping 전류의 자승에 비례함으로 전류흐름의 방향에는 상관없다. 그러므로 S R M drive 에서는 단일방향 여자전류를 필요로 하는 전동기이다. 이는 S R M에서 스위칭소자를 절감하게 할 수 있는 큰 잇점으로 되어 있으며, 자기적 구조의 단순화 및 생산 cost가 절감되며, 이 절감된 cost로서 스위칭회로의 제작비를 충당하여 기존 유

도전동기와 생산 cost면에서 경쟁할 수 있는 근거가 된다. 또한 V R M 의 각 극의 권선은 될 수 있는 데로 상호작용을 억제하여 동작함이 제어특성이 단순하고 우수할 것이므로 각 스위칭 회로는 각각 별개로 동작하도록 한다.

Switching 회로의 topology 는 많은 것이 개발되어 있으며, 각각 특징이 있다. 본 연구에는 인가전압이 그 중 낮은 것을 선정하여 스위칭소자의 cost를 절감하는 방식 (그림 3)에 대하여 실험적 특성을 해석한다.

S R M 을 구동하기 위한 인버터의 필요조건은 다음과 같다

1) 저속운전시 권선전류를 제한하기 위하여 권선에 인가되는 전압 혹은 전류를 제한하여야 한다.
2) 각각의 동작점에서 전류가 일정한 크기로 빠르게 형성되도록 충분한 여자전압이 필요하다.
3) 감자동작시에 전류의 흐름을 빨리 제한하여, 음의 토오크 발생을 최대한 억제할 수 있도록 높은 감자전압이 필요하다.
4) 인접한 상이 동시에 여자되는 중첩의 기간에서도 상전류의 독립적인 제어가 가능해야 한다.

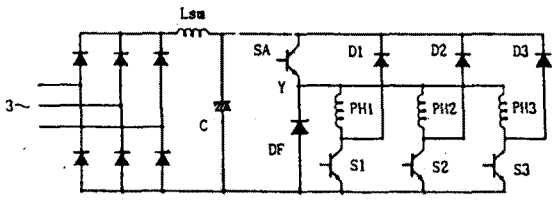

Fig. 3, Switching circuit of 6/4 S R M drive

그림 1는 본 실험에 사용된 S R M drive 에서 구동시스템의 전체구성도이다. S R M drive 는 회전자의 위치에 의존하여 각상의 권선을 여자하여야 하므로 절대적인 회전자 위치의 검출을 필요로 한다. V R M에 취부한 증분형 엔코더를 사용하여 영점위치신호를 검출한 후, 이를 기점으로 엔코더에서 출력하는 펄스신호를 16bit 카운터에 입력하고, 카운터의 출력을 S R M 의 회전자 절대위치에 이용한다. 카운터의 출력신호는 IBM PC/AT에 입력되고, PC에서는 S R M 의 권선을 여자할 상을 결정하여 전류제어기로 그 신호를 출력한다. 전류제어기는 외부에서 설정된 전류의 크기와 S R M 권선에 흐르는 실전류와의 크기를 비교하여 인버터의 스위칭동작을 결정하도록 한다.

4. S R M 구동시스템의 동작특성 해석

본 연구에서 설계 제작된 S R M drive 에서 이에 대한 각각의 특성을 실험적으로 해석한다.

1) 각 상의 권선에 전류를 강제로 흘리는 기간-Dwell-의 변화에 따른 출력특성의 변화 및 ripple 토오크 억제
2) 권선을 여자하기 시작하는 시점의 변화에 따른 출력토오크의 변화
3) 운전속도에 따른 적정전압의 조건 및 Ampere-turn 의 적정조건
4) 속도-효율특성

등에 관하여 실험적으로 해석하였다.

참 고 문 헌

[1] P.J. Lawrenson, J.Stephenson, P. Blenkinsop, J.Corda and N.Fulton, "Variable-speed switched reluctance motors", Proc.Inst.Elec. Eng. PP.253-265, July 1980.

[2] 공 관식, 황 영문 외, "Switched Reluctance Motor에서 인덕턴스 프로필에 따른 토오크 특성" 대한전기학회 '92하계종합학술대회논문집, part. A

[3] Slobodam Vukosavie and Victor R.Stefanovic, "SRM inverter topologies:A comparative evaluation", IEEE Trans.on IA, Vol.27, No.6, pp.1034-1047, Nov/Dec.1991

[4] H.Moghbelli,G.E.Adams and R.G.Hoft, "Performance of a 10 Hp switched reluctance motor and comparison with induction motors",IEEE Trans.on IA ,Vol.127, No.3, PP.531-538, 1991.