

단상구동 Switched Reluctance Motor의 해석

임 준영, 김 형섭, 오 재윤
LG전자 리빙시스템 연구소

A Switched Reluctance Motor for Single Phase Drive

Jun-Young Lim, Hyung-Sup Kim, Jae-Yoon Oh
Living System Lab, LG Electronics Co.

Abstract - A switched reluctance motor (SRM) has very simple structure and robustness. Generally, for driving SRM, several (6 ~ 8) switching devices are required. This is weakpoint for reducing the cost of SRM drive.

In This paper, we simulate the single phase and three phase SRM, and we compare the performance of single phase SRM with that of three phase SRM through experiment. Finally we suggest the appropriate application of single phase SRM.

1. 서 론

Switched Reluctance Motor(SRM)의 구조는 고정자와 회전자가 돌극구조를 갖고 고정자에는 권선이 감겨져 있으며 회전자에는 영구자석이나 권선이 없어 기계적이나 열에 대한 충격에 강해 견고하며 BLDC Motor와는 특성면에서 매우 비슷하나 가격적으로 장점이 있는 형태의 모터이다.

SRM의 구동회로 역시 유도전동기나 BLDC용 Inverter에 비해 간단한 구조를 가지고 있으나 가격 면에서는 모터측의 장점을 충분히 살려주지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 일반적인 SRM용 Inverter에 비해 스위치의 갯수가 매우 적어 가격적으로 장점을 살릴 수 있는 Single Phase구동 SRM의 구동에 대하여 살펴보고 적용분야에 대하여 논의 하여 보았다. 가변속제어에 사용되는 종래의 3상 또는 4상에서 필요로 하는 스위칭소자의 갯수는 Assymetric Bridge구동기준으로 6개에서 8개이다. 모터 드라이브에서 50%정도의 가격이 스위칭소자로 인해 발생하므로 스위칭소자의 개수를 줄이는 연구는 가격적으로 장점이 있다. 본연구에서는 이를 2개의 스위칭소자로 구동하고 이를 기존의 6/4구조의 SRM과 성능을 비교하여 보았다.

2. Single Phase SRM

그림1은 본연구에서 사용하기 위한 6/6구조의 단상구동 SRM과 구동회로이다.

기존의 6/4구조의 3상SRM에서 전기각120도의 위상 차를 이용하여 구동하는 것과 달리 단상구동 SRM은 하나의 인덕턴스프로파일 만이 구동되며 여기에 따라 회전력을 얻으므로 회전력을 얻을 수 없는 회전자의 위치가 발생한다.

$$\text{토크식} : T = \frac{1}{2} \times 3 \times i^2 \times \frac{dL}{d\theta}$$

인덕턴스의 변화 없는 그림2의 최대 인덕턴스나 최소 인덕턴스 구간에서 정지해 있을 경우 영구자석을 이용하거나 고정자의 Pole을 불규칙하게 배열하여 이를 해결하는 것이 하나의 방법이다[1]. 이것은 위치에 따라 기동토크의 크기가 매우 크게 달라지는 단점이 있으며 사용되어지는 부하의 종류가 마찰이 큰 부분이라면 사용상의 제약이 따른다.

본 연구의 부하로서 FAN부하를 사용하였다.

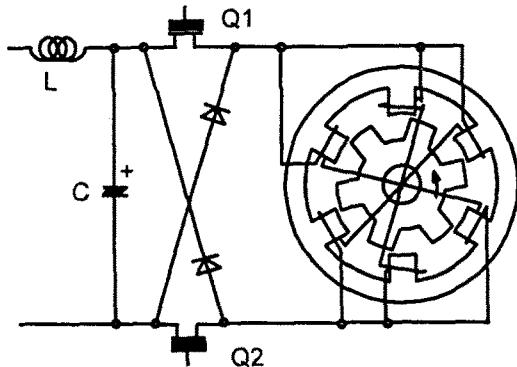
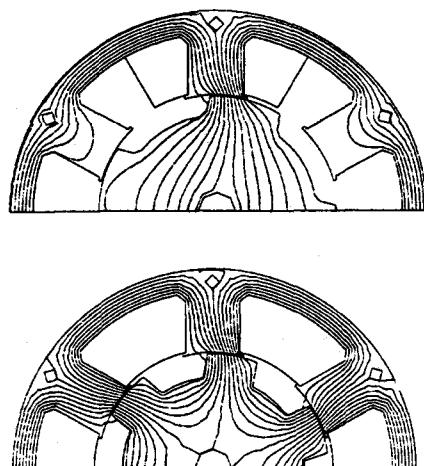


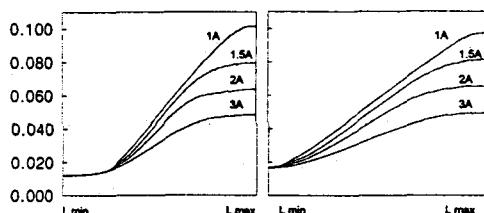
그림1 6/6 구조의 단상 SRM 구동 회로

본연구에서 사용한 모터는 출력40W급으로서 고정자는 3상과 단상에서 같은 것을 사용하였다.

2.1 FEM 해석



(a) 3상 및 단상 SRM의 FEM 해석 결과



(b) 위치에 따른 3상과 단상의 Inductance

그림2. 6/4와 6/6 SRM의 FEM해석 및 Inductance

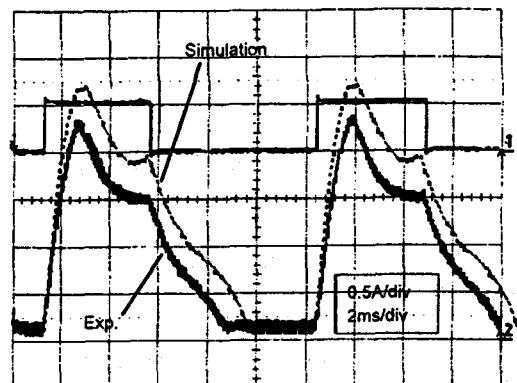
그림2에서 3상과 단상의 FEM 해석결과 및 Inductance profile을 나타내었다. 위의 Inductance 그래프는 하나의 권선에 각각 1[A], 1.5[A], 2[A], 3[A]의 전류가 흐른경우 회전자 위치에 따른 Inductance를 나타낸 것이다. 1[A]에 비하여 3[A]가 흐른 경우 포화가 심하게 되어 Inductance 값이 많이 떨어짐을 알 수 있다.

두그래프에서 알수 있듯이 3상과 단상의 포화 정도는 비슷하여, 특성이 비슷할 것으로 예상된다.

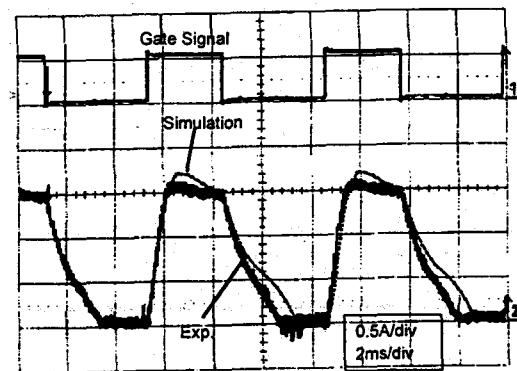
2.2 Simulation 과 소자 정격비교

단상 및 3상 SRM을 전압원 구동 방식으로 FEM 을 이용한 Simulation 결과와 실험결과를 그림3에 표시하였다. 그림3의(a)는 3상 SRM의 실험과 simulation결과이고 (b)는 단상에 관한 것이다. 각각 하나의 권선에 흐르는 전류를 표시한 것이다. 그림에서 점선으로 표시한 것이 simulation결과이다. 각각을 구동하기 위하여 단상은 최대전류 4.5[A] 스위칭 소자2개가 필요로 하고, 3상의 경우

에는 최대전류 2.0[A] 스위칭 소자 6개가 필요로 하게 되어 단상이 구동회로면에서 가격이 유리하다.



(a) 3상 SRM의 실험과 시뮬레이션의 전류



(b) 단상 SRM의 실험과 시뮬레이션의 전류

그림3 단상 및 3상의 실험과 시뮬레이션의 비교

2.3 Speed Ripple

모터의 Speed는 다음식에서처럼 모터에서 발생하는 토크와 부하 토크 그리고, 관성에 의하여 결정된다. 본연구에서는 FAN의 관성과 부하곡선을 측정하여 Speed Ripple의 크기를 Simulation 하였다.

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

위의 식에서 T_e 는 모터의 축에서 발생되는 토크이고, T_L 은 부하토크를 나타낸다. 그리고 J 는 회전체의 관성을 나타내고 ω 는 회전체의 각속도를 표시한다.

다음은 단상 SRM의 Speed Ripple을 Simulation한 결과이다.

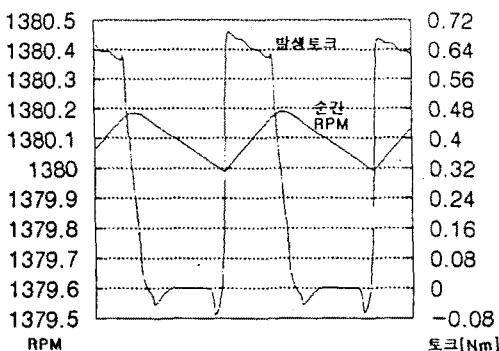


그림4 단상 SRM의 발생 토크 및 Speed Ripple

단상SRM에서는 토크를 전혀 발생시키지 못하는 Zero-Torque구간이 발생하기 때문에 그림4에서는 여기에 따른 영향을 살펴보았다. FAN부하인 경우 부하는 일반적으로 속도의 2제곱 - 3제곱에 비례한다. 따라서 모터의 속도가 낮으면 관성의 영향이 작아지지만 부하도 작아져 리플의 양이 적게 된다. 그러나, 마찰 부하인경우 리플이 매우 커지게 되기 때문에 단상 SRM의 부하로는 적당하지 않다. 또한 단상 SRM은 기동토크가 작기 때문에 FAN 부하가 바람직하다. 그림4에서 토크 변동에 대한 속도변동은 fan이 기본적으로 가지는 관성에 의해 그 차이가 0.1 rpm정도로 무시할 수 있다.

2.4 3상과 단상모터의 효율비교

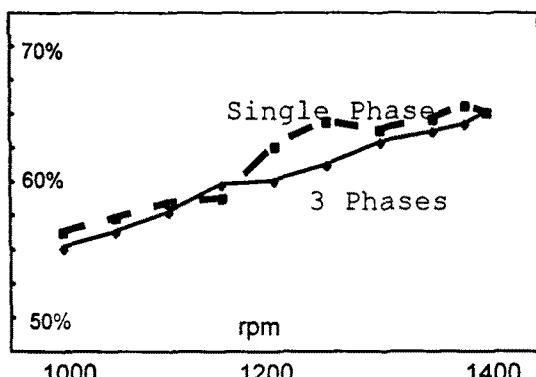
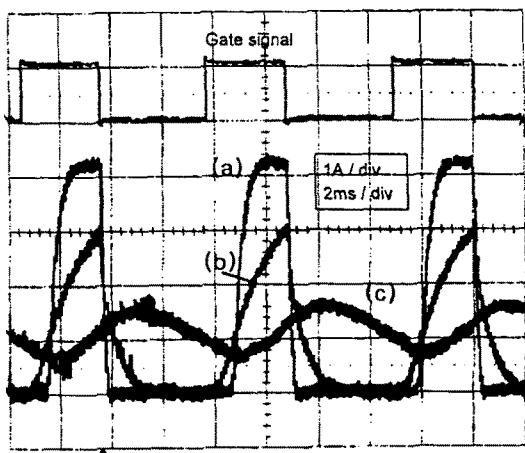


그림5. 회전수에 따른 단상 및 3상 SRM의 효율비교

그림5에서 3상과 단상의 모터 회전수에 따른 효율을 비교하여 보았다. 최소 회전수는 1000rpm이고, 최대 회전수는 1400rpm이다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적으로 단상과 3상이 비슷한 효율을 가짐을 알 수 있다.

2.5 DC Link의 전류맥동

그림6은 직류단의 전류공급을 살펴보았다. 3상에 비해 단상의 경우 매우 큰 맥동을 가진다. 즉, 단상 SRM을 구동하기 위하여 3상에 비해 큰 전류원이 필요로 하게된다. 이를 해결하기 위하여 그림1에서처럼 DC Link단에 Capacitor를 1500 μ F, 5000 μ F, 그리고 16mH의 inductor와 1500 μ F을 동시에 연결하여 보았다. 각각의 경우 전류의 최대치는 4.5[A], 3.1[A], 1.6[A] 이다. (c)는 그림 1의 L을 직렬로 연결한 경우이다. DC Link 단의 맥동을 줄이기 위해서는 inductor가 효과적임을 알 수 있다.



(a) $C=1500 \mu$ F without L
 (b) $C=5000 \mu$ F without L
 (c) $C=1500 \mu$ F $L=16mH$

그림6. DC Link단의 맥동전류

3.결론

가격적인 측면에서 단상구동은 매우 효과적인 방법이며 또한 모터의 효율 및 제 특성면에서도 3상에 비해 손색이 없음을 확인하였다. 따라서 Fan과 같은 부하특성을 가진 용용에는 단상구동 SRM이 매우 유리하다.

또한, 전원측에서 공급하는 전류측면에서 보면 3상에 비해 단상의 경우 매우 불리하나 inductor를 사용하면 효과적으로 이 문제를 해결할 수가 있음을 보였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Peter Lurkens, United States Patent, Patent Number - 5,428,257, 1995
- [2] T.J.E Miller, "Switched Reluctance Motors and their Control", Magna Physics Publishing, 1993