자기동이 가능한 2상 SRM에 관한 연구

오석규
진주산업대학교

The study for two phase SRM with self starting capability

Seok-Gyu Oh
Jinju National University

ABSTRACT

SRM drive systems are designed to meet operating standards such as low cost, constant torque independent of rotor position, a desired operating speed range, high efficiency, and high performance. In applications using small motors, low cost and high performance with self-starting capabilities are highly desired. This paper discusses a novel two phase SRM (TPSRM) that has high performance characteristics with self-starting capability, low manufacturing cost with a two phase inverter and simple magnetic structure, and high efficiency. The principle of operation, analysis, and simulation for design are presented. The machine design is verified using finite element analysis (FEA) software. Analysis and simulation results are given to validate the TPSRM design.

1. 서 론

소형 전동기의 적용에 있어서 직류전동기가 주로 사용되어 왔으나 브러쉬를 가지고 있는 근본적인 결점으로 인해 최근에는 브레쉬레스 가변속 전동기구로 대체되고 있는 실정이다. 이러한 소형 가변속 전동기구는 고성능과 저가격의 특징을 가져야 한다. SRM은 다른 가변속전동기(BLDC, 가변속 유도기) 에 비교해 고효율, 넓은 가변속능력, 고성능 특성을 가지고 있다. 또한 제작비면에서도 간단한 자기구조와 권선 형태로 인해 경재적이다.

BLDC와 가변속 유도기 등은 3상 인버터에 6개의 파워 스위치를 필요로 한다. 반면에 일반적으로 SRM은 다양한 극의 조합으로 구성되어질 수 있다. 예를 들어 4상 8/6 SRM (8개 고정자극과 6개의 회전자극), 3상 6/4 SRM, 2상 4/2 SRM, 그리고 단상 6/6 SRM 등이 있다. 이것은 경우에 따라 SRM의 인버터를 BLDC와 가변속 유도기와 비교해 저렴하게 구성할 수 있다는 것을 의미한다.[1]

SRM의 고정자극과 회전자극의 비가 정수이면, 토오크가 생기지 않는 회전자 위치가 생기게 된다. 이런 고정자극과 회전자극의 비를 갖는 4/2, 6/6, 6/3의 SRM은 근본적으로 자기 기동에 문제를 가지고 있다.[2] 이러한 단점을 극복하기 위해서 영구자석을 부가적으로 부착한다던가, 비대칭 고정자나 회전자를 이용한 자기회로를 왜곡하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 부가적인 비용이 들뿐 아니라 큰 평균공극으로 인해 성능이 저하되는 단점이 가지고 있어 저성능 저가격의 극히 제한된 적용분야에만 사용되고 있다.

본 연구는 성능의 저하가 없고 자기 기동이 가능하며 저가의 제작비를 실현한 새로운 TPSRM(Two Phase SRM) 제안하고 이를 분석 및 해석, 시뮬레이션 등을 통하여 그 성능을 입증하고자 한다. 제안한 TPSRM 은 고정자의 요크부분에 단방향의 자속만 흐르게 되어 철손을 줄일 수 있고 또한 한상의 여자시에 3극이 동시에 여자됨으로 SRM에서 문제가 되고 있는 소음 진동을 줄일 수 있는 등 고효율 고성능 특성을 가지며 2상이기 때문에 BLDC와 가변속 유도기에 비해 인버터의 비용을 2/3에서 1/2까지 줄일 수 있어 저가의 고성능 가변속 전동기기를 실현할 수 있다.

2. TPSRM의 자기적 구조

그림 1은 제안한 TPSRM의 구조와 FEA(Finite Element Analysis)에 의한 자속 패턴을 보여주고 있다. TPSRM은 고정자에 2개 주 자극과 4개의 보조 자극을 가지고 있고 회전자에 3개의 극을 가지고 있는 독특한 형태를 가지고 있다. 그리고 회전자극의 일정한 공극지역(uniform air gap region)은 최소 릴럭턴스를 만들기 위해 형성되었고 인덕턴스의 지속적인 상승을 위해 공극의 크기가 회전자각에 따라 커지도록 한 공극이 일정치 않은 부분(non-uniform air gap region)이 있다. 이와 같은 구조는 성능의 저하없이 자기 기동을 가능케 한다.[3]

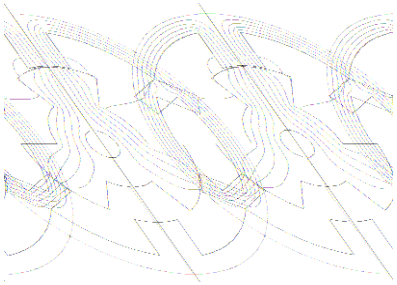


그림 1. TPSRM의 구조와 자속패턴
Fig. 1. Magnetic structure and flux plot of TPSRM

또한 그림 1에서 보듯이 1상을 여자 하였을 경우 자속 통로는 2개로 구성되면 고정자의 보조자극에 흐르는 자속은 주자

극에서 흐르는 자속의 반으로 병렬회로를 구성하고 있으며 고정자 권선도 주자극 권선과 병렬로 연결된 보조자극 권선과 직렬로 연결되어 있다. 따라서 보조자극의 넓이는 주자극의 넓이의 반이 됨을 알 수 있다. 이는 또 하나의 장점이 될 수 있으며 이것은 철심을 줄여 저비용을 실현할 수 있으며 또한 권선공간을 충분히 가질 수 있다는 것을 의미한다. 또한 일반적인 SRM은 한 상이 여자될 때 마주보는 자극들을 통해 자속이 흐르게 된다. TPSRM은 그림에서 보듯이 고정자와 회전자의 2/3 부분만을 이용함으로 철손을 줄일 수 있는 특징을 가진다.

TPSRM의 기본적인 구동원리를 설명하기 위한 이상적인 인덕턴스를 그림 2에서 보여주고 있다. 그림 2의 TPSRM은 고정자 주자극은 30 , 고정자의 보조극은 15 이고 회전자극은 60 를 가지고 있다. A상의 경우 30에서 고정자 주자극과 회전자극이 만난 이후에 인덕턴스는 상승함을 알 수 있다. 또한 그림 2에서 보듯이 인덕턴스 상승구간은 길고 하강구간은 짧다. 따라서 상승구간의 적절한 중첩을 통하여 연속적인 토오크를 생산할 수 있다. 또한 반대방향으로 회전은 가능하지 않는 단방향의 회전만 하는 TPSRM의 단점도 알 수 있다.

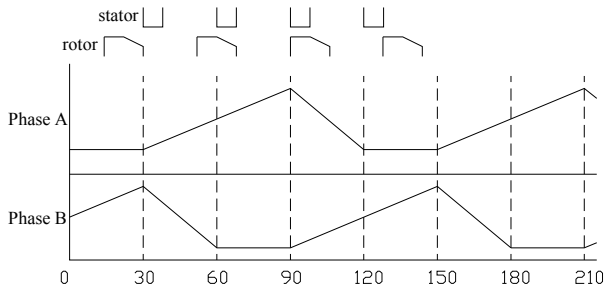
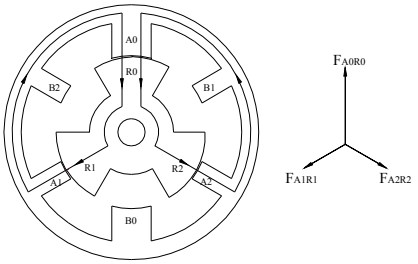
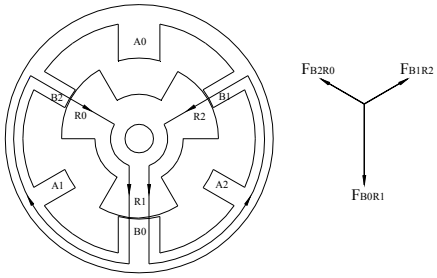


그림 2. TPSRM의 이상적인 인덕턴스
Fig. 2. Ideal inductance of TPSRM



(a) A상여자



(b) B상여자

그림 3. 극이 정렬되었을 때 자속 통로와 방사방향 힘
Fig. 3. Flux path and normal force diagram when poles are aligned

그림 3은 자극이 정렬되었을 때 TPSRM의 방사방향의 힘과 자속 통로를 보여주고 있다. 일반적인 SRM은 방사방향의 힘은 정 반대 방향으로 작용하여 고정자의 형상의 왜곡을 가져오고 이는 소음과 진동의 직접적인 원인이 되고 있다. 그러나 TPSRM은 방사방향의 힘이 3방향으로 작용하여 고정자 형상의 왜곡을 완화시켜 소음 진동을 저감 시키는 효과를 가진다. TPSRM의 또 다른 장점은 그림에서 화살표로 표시된 자속에서 보듯이 A상과 B 상을 각각 여자하였을 경우 고정자 백 요크부분에서의 자속의 방향이 바뀌지 않아 철손을 크게 줄일 수 있다. 철손은 자속밀도, 주파수 등에 비례하는 값이다.

3. TPSRM의 인덕턴스와 토오크 특정

SRM에서의 토오크 특성은 전류의 함수로서 자속쇄교수와 회전자의 위치에 따라 달라진다. 토오크는 전류의 제곱과 인덕턴스의 기울기에 의해 발생된다. 따라서 토오크의 방향은 전류의 방향과는 관계가 없으며 인덕턴스의 기기울기에 따라 달라진다.

그림 4는 회전자 위치와 전류에 따른 인덕턴스를 보여주고 있다. 이때 고정자 주극호는 30°이며 회전자의 극호는 60°이다. 그리고 회전자의 극호는 일정한 공극부분과 일정치 않은 공극부분이 각각 30°로 구성되어 있다. 여기서 볼 수 있듯이 인덕턴스 증가구간은 약 60° 이고 하강구간은 약 30°이다. 따라서 인덕턴스 상승구간에서 전류를 흘리게 되면 정방향의 토오크를 얻을 수 있다.

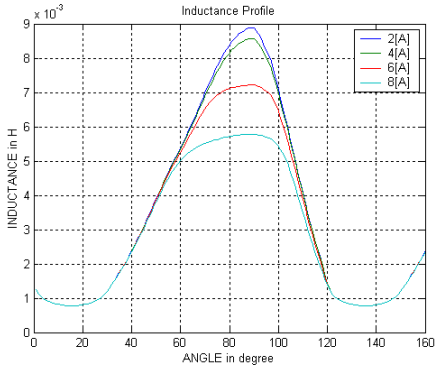


그림 4. 전류에 따른 인덕턴스 프로파일
Fig. 4. Inductance profile according to currents

고정자극과 회전자극이 만날 때 회전자 위치 30° – 60° 부분은 인덕턴스가 선형임을 알 수 있다. 이 부분은 일반적인 SRM과는 달리 회전자극의 공극이 일정히 않은 부분으로 평균적인 공극이 큼으로 자속이 포화가 되지 않아 인덕턴스가 선형적인 특성을 보여주고 있다. 이 부분에서 제어를 할 때 전류가 비록 클지라도 인덕턴스가 선형이기 때문에 제어가 한층 쉬게 이루지는 장점을 가지고 있다.

두상에 의한 토오크발생은 그림 5에서 보여주고 있다. 이때 여자된 권선전류는 2[A]이다. 정방향토오크는 역방향 토오크의 절반이다. 이는 인덕턴스가 상승하는 구간이 인덕턴스가 하강하는 구간의 2배이기 때문이다. 그림 4에서 어느 회전자 위치에서 자기 기동을 할 수 있으면 또한 기동토오크를 크게 하기 위해 회전자극호를 조정하여 기동 토오크를 크게 할 수 있다.

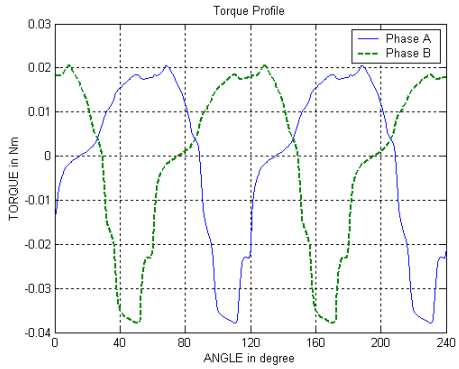


그림 5. A, B 상의 토오크 프로파일
Fig. 5. Torque profile for phase A and B(2[A])

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 사용된 컨버터는 비대칭 브리지 컨버터이며 그림 6에서 보여주고 있다. 비대칭 브리지 컨버터는 가장 기본되는 컨버터이면서 실험을 위해 많은 다양한 동작모드에 스위칭을 하기에 알맞기 때문에 사용되었다. 각 상권선의 연결은 고정자 주극의 권선 Wm,은 고정자 보조극에 있는 병렬로 연결된 두 개의 보조권선 Ws,와 직렬로 연결되어 있다.

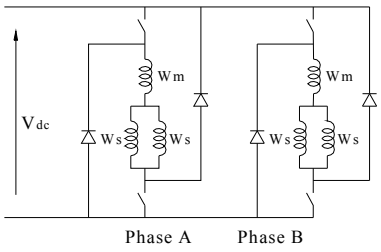
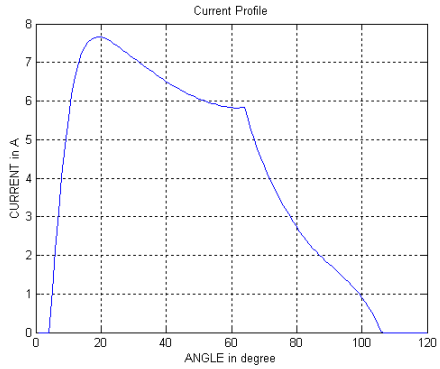


그림 6. 비대칭 브리지 컨버터
Fig. 6. Asymmetric bridge converter

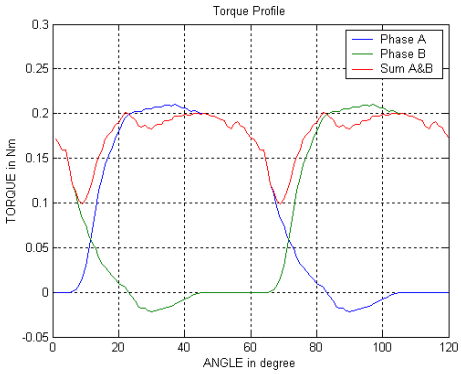
동손은 전류의 제곱과 저항에 비례한다. 보조 권선에 흐르는 전류는 주 권선에 절반이 흐르게 되어 전체 동손은 일반적인 SRM에 비해 2/3로 줄일 수 있고 또한 보조 권선은 더 얇은 동손을 사용할 수 있어 더욱 경제적이다.

권선에 흐르는 전류와 자속 파형은 동작 상태에 따라 다양하게 변화한다. 단일펄스 여자에 의해 발생한 전류와 토오크 파형을 그림 7에서 보여주고 있다.

권선은 최소 인덕턴스 구간에서 여자되고 최대 인덕턴스에 가지 전 회전자 위치에서 스위치 오프된다. 그림 7에서 보여지는 전류는 스위치 온 각이 5°이고 스위치 오프각이 65° 일때를 보여주고 있다. 그리고 그림 7(b) 는 두상의 토오크와 그 합을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 적절한 스위칭 패턴에 의해 제어되면 일반적인 SRM의 특성을 가짐을 알 수 있고 이것은 2상임에도 불구하고 연속적인 토오크를 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 전류(a)와 토오크(b) 프로파일
Fig. 7. Current(a) and Torque(b) Profile

5. 결 론

소형 직류전동기를 대체하기 위한 소형 브러쉬레스 전동기가 활발히 연구되고 있다. 이중 자기동을 할 수 없는 문제를 안고 있어 그 경제적 장점과 우수한 구동특성에도 불구하고 단상 혹은 2상 SRM의 적용이 활발히 이루어지지 못하고 있다.

본 논문에서 제안한 TPSRM 은 단상 혹은 2상 SRM의 단점인 자기동을 못하는 단점을 보완하여 자기 기동력을 가진 고성능 특성과 간단한 인버터 구성으로 저가의 제작비를 필요로 하는 소형전동기에 적합함을 확인할 수 있었고 또한 요크부분에서의 철손과 동손을 저감할 수 있어 보다 경제적임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkinsop, J.Corda and N.N.Fulton ; "Variable-speed switched reluctance motors," Proc. IEE, Vol.127, Pt-B, No.4, pp.253-265, 1980.
2. A.E.Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D.Umans, *Electric Machinery five ed.*, McGrw-Hill,
3. Seok-Gyu Oh and Krishnan, R., "Two Phase SRM With Flux Reversal Free Stator: Concept, Analysis, Design and Experimental Verification" Proc. of IAS2006, Vol.3, pp.1155-1162, Oct 2006.