

센서리스 구동방법에 의한 SRM 속도제어법

Speed Control of The Switched Reluctance Motor using The Sensorless Driving Method

*#김창순¹, 문지우¹, 전연도¹, 이춘만²

*#C. S. Kim¹(cskim1@keri.re.kr), J. W. Moon¹, Y. D. Chun¹, C. M. Lee²

¹한국전기연구원 산업전기연구단, ²창원대학교

Key words : SRM, Sensorless driving method

1. 서론

전기기계적 에너지 변환 기계에는 공극에서 일정여자에 의한 상호토크 방식과 가변여자를 위한 릴럭턴스 토크방식이 있다. 전자는 대부분 동력용 전기기계에서, 후자는 소형기계에서 단순 토크를 이용하는 기계에 주로 이용되어 왔다. 릴럭턴스 토크를 사용한 전동기는 긴 역사를 가지고 있으며, 최근 전동력 응용범위의 확대, 전력전자 기술의 발전으로 이러한 스위칭 여자에 의한 릴럭턴스 토크 전동기가 서보용 뿐만 아니라 동력용으로도 상용화 되게 되었다.

SRM(Switched Reluctance Motor)은 릴럭턴스 토크를 극대화하기 위해 회전자와 고정자가 모두 돌극형의 구조를 가지며 권선은 고정자에만 집중권으로 감겨 있어 전자계 구조상 단순적인 여자 전원이 각 상 권선에 순차적으로 인가되어 구동되므로 낮은 스위칭 주파수로 운전이 가능하여 고속운전이 가능한 장점을 갖고 있다.

하지만 SRM은 회전자의 위치에 따른 스위칭 동작을 위해 회전자 위치정보를 검출하기 위한 위치 검출센서가 필수적이라 할 수 있다. 위치검출 센서로는 리졸버(resolver) 및 관향 엔코더, 홀 센서, 포토 센서 등이 있다.

위치 검출 센서는 전동기의 가격 및 크기를 증가 시키고, 전동기 구조를 복잡하게 할 뿐만 아니라 주변 온도나 습도 등 작동 환경에 제한을 받는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 위치 검출 센서 없이 SRM을 운전할 수 있는 센서리스 구동방법을 연구하고자 한다.

2. SRM의 구조

이중돌극을 갖는 자기적 구조에 고정자에만 집중권선을 갖는 간단한 전기-기계 변환기구로 가장 많이 쓰이고 있는 형태중 하나인 6/4 3상 SRM으로 적절한 펄스전원을 인가하여 브러시없이 전류작용을 하는 가변 토크-속도특성의 전동기이다.

다.가변 릴럭턴스 전동기와 이를 구동하기 위한 컨버터가 결합된 형태의 SRM은 본질적으로 가변속 전동기라는 이점을 가지고 있으며, 구조상 회전자와 고정자는 릴럭턴스 토크를 최대화하기 위하여 자극의 모양이 모두 돌극의 형태이며 회전자에는 어떠한 권선이나 영구자석이 없다. 고정자에는 $N_s = 2mq$ 극과 회전자에는 N_r 의 박판 회전자와 고정자로 만들어진다. 여기서 상수는 m 이고, 각상은 $2q$ 고정자극에 위치한 집중코일로 만들어진다. 따라서 간단한 돌극구조의 회전자 형태를 가지고 있으므로 전동기 자체의 관성이 적으며, 관성에 대한 토크의 비가 다른 전동기에 비하여 높다.

3. 센서리스 제어방식

기존의 센서리스 제어방식은 인덕턴스법, 주파수변조법, 자속/전류 검출법 그리고 상태관측기를 이용한 방법 등이 있는데 상 인덕턴스는 회전자 극이 고정자 극에 따라 일치할 때, 즉정렬 위치에 있을 때 최대값이 되고 비정렬 일 때 최소값이 된다. 최적의 토크를 생성하기 위해서는 상전류는 상승 인덕턴스 주기에 앞서 스위칭 되고, 전류가 완전히 감소하도록 하기 위해 인덕턴스 감소 주기에 앞서 스위칭 오프한다. 따라서 부토크가 발생되지 않는다. 따라서 상 여자의 정확한 제어를 위해 회전자 위치의 정확한 측정이 필수적이다

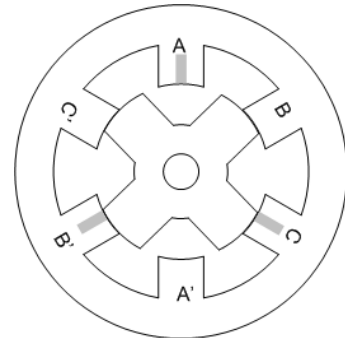


Fig. 1 Cross section of 6/4 SRM

본 논문에서 제안된 센서리스 구동방법은 임펄스 신호에 의한 회전자 위치검출의 새로운 방법을 제시한다. 임펄스 신호에 의한 위치검출 방식은 비 여자상의 인덕턴스 감소구간에서의 전류의 변화에 의해 위치를 검출한다. 전류센서는 비 여자상의 전류를 검출하여 전압의 형태로 출력하게 된다. 전압은 인덕턴스 변화에 따라 비례적으로 변화하게 된다. 만약 회전자가 정렬위치에서 비 정렬 위치로 회전하게 되면 비 여자상의 인덕턴스는 최대 인덕턴스(L_{max})에서 최소 인덕턴스(L_{min})로 감소하게 된다. 이때 임펄스 신호에 의한 비 여자상의 전류는 최대값이 된다. 회전자의 위치는 비 여자상의 전류가 threshold current보다 높게 되면 회전자의 현재 위치를 검출할 수 있다. Fig. 2은 6/4 SRM의 A, B, C상의 인덕턴스 변화와 임펄스 신호, 임펄스 신호에 따른 전류와 threshold current를 보여준다. Fig. 2와 같이 일정한 duty의 임펄스 신호가 IGBT의 gate signal로 인가되어지고 이 임펄스

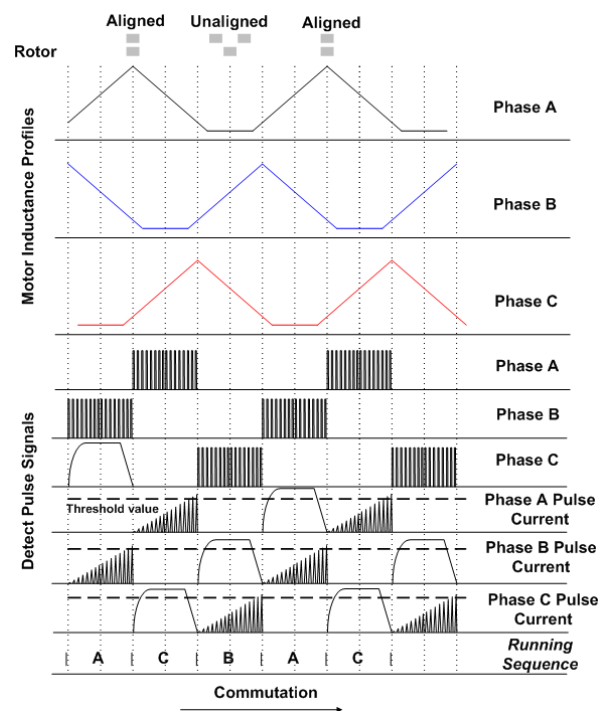


Fig. 2 Detect pulse signals and current by variation of the inductance

입력은 전류의 크기로 나타난다. 이 전류의 크기는 최소 인덕턴스에서 측정되어진 *threshold current*와 비교되어 지고 측정전류가 *threshold current*이상인 경우 회전자는 최소 인덕턴스에 도달했음을 확인할 수 있다. 이 신호는 엔코더에 비해 분해능은 떨어지지만 홀센서 또는 포토센서와는 동일한 신호로써의 효과를 가진다.

4. 실험 및 결과

Matlab/Simulink 를 이용하여 센서리스 SRM 구동에 대한 이론적인 제어 알고리즘을 확인하였으며 모델은 Fig. 3과 같다.

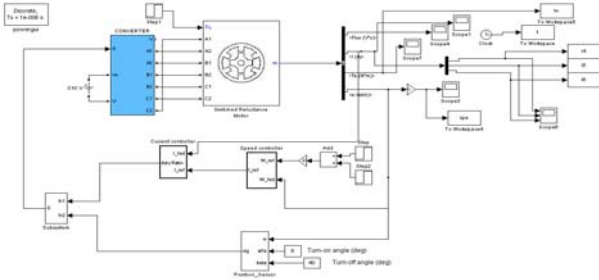


Fig. 3 Matlab/simulink model

시뮬레이션 및 실험에 사용된 대상 전동기의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 SRM parameters

Parameter	Values
rated power	2.2 kW
rated voltage	AC 220 V
rated current	8 A
rated speed	3,600 rpm
poles[stator]	6
poles[rotor]	4

회전자의 시뮬레이션은 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 센서 부착형 시뮬레이션과 동일한 정지상태에서 2,000[rpm]의 지령후 0.07[s] 뒤 3,000[rpm]으로 속도지령을 실시하였다. 초기 구동시 회전자의 위치검출을 위해 지령 속도는 0.03[s]에서 초기 속도 지령을 실시하였다. 초기 속도는 센서 부착형 SRM전동기와 동일한 약 0.01[s]후 초기 지령속도에 도달하고 2차 지령속도인 3,000[rpm]에 약 0.01[s]후 도달함을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 속도 지령에 따른 전류응답 특성 및 각상의 전류 응답특성을 보여주고 있다. 초기 회전자 검출을 위한 전류응답특성이 0.01[s]에서 나타난다. 각 상의 전류 크기의 차이에 의해 초기 회전자의 위치를 검출 하였다.

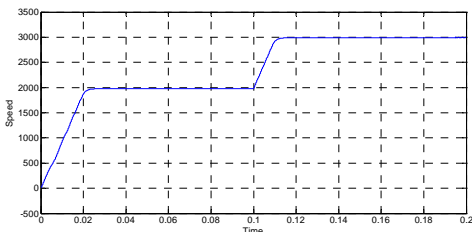


Fig. 4 Speed of the SRM

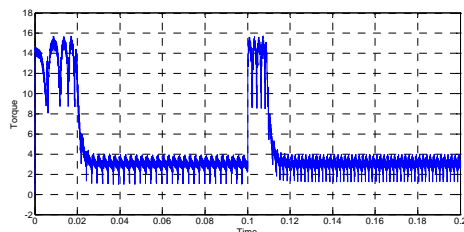


Fig. 5 Torque of the SRM

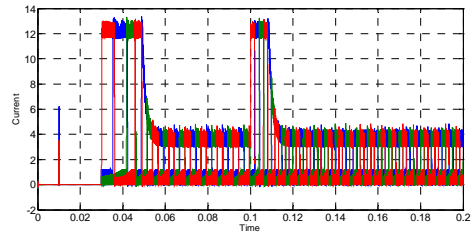


Fig. 6 Average current of the SRM

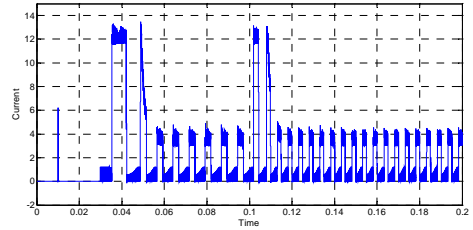


Fig. 7 A current waveform of the SRM

5. 결론

일정한 크기의 임펄스 신호를 비 여자상에 발생시켜 인덕턴스 변화에 따른 전류의 크기를 검출하여 회전자의 절대 위치를 검출하는 방법을 제시하였다. 비 여자상에 임펄스 신호를 인가하여 전류를 측정하고 기준 응답 특성과 비교하여 회전자의 절대 위치를 검출하였다.

이 방법은 다른 센서리스 SRM 구동방식에 비해 간단할 뿐만 아니라 검출 속도도 다른 센서리스 보다 빠르게 처리할 수 있으며 인덕턴스를 구하기 위한 별도의 LOOK-UP 테이블이 필요 없어 연산이 간단하다는 장점을 가진다.

본 논문에서 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해서 본 논문에서 제안한 센서리스 SRM 전동기와 센서 부착형 SRM 전동기에 대하여 각각 속도제어 시뮬레이션을 실시하고 결과를 비교 분석하여 그 타당성을 입증하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. P.J. Lawrenson, J.M. Stephenson, P. T. Blenkinsop, J. Corda and N. N. Fulton, "Variable-speed Switched Reluctance Motor", IEE Proc, 127, 253-265
2. 이인재, "DSP를 이용한 Switched Reluctance Motor의 속도제어에 관한 연구", 동아대학교, 2007
3. 서홍석, "자속/전류 검출 방식을 이용한 SRM 센서리스 속도제어", 충남대학교, 2000
4. P.P Acarnley, R.J. Hill and C.W. Hooper, "Detection of rotor position in stepping and switched reluctance motor by monitoring of current waveforms", IEEE Transaction IE, 32, 215-222