

간단한 위치센서를 이용한 SRM 드라이버

⁰안영주*, 조철재*, 안진우**, 황영분***

* 부산공업대학교 ** 경성대학교 *** 부산대학교

SRM Driver Using Simple Position Sensor

Y. J. An, C. J. Joe, J. W. Ahn, Y. M. Hwang

P. N. U. T., K. S. U., P. N. U.

Abstract - In switched reluctance motors(SRM), shaft position sensing is essential in order to synchronize the excitation pulse of a pertinent phase to the rotor position. This paper describes the operation of SRM drive using a simple position sensor of low cost. The position sensor is composed of a slotted disk similar to the rotor core shape of a prototype 6/4 SRM and three opto-interrupters disposed at an angle of 30 degrees. The phase current waveforms measured at several rotor speeds in experiment are compared with those obtained through the computer simulation.

1. 서 론

최근 10여년동안 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)에 대한 연구가 해외 각지에서 꾸준히 행해져 오고 있다[1-5]. 또한 SRM이 갖는 고유의 장점- 견고성, 고토오크, 고에너지 밀도 등-들은 앞으로 더욱 더 연구의 관심을 모을 것으로 기대된다.

SRM은 원리적으로는 회전자의 위치에 따라 상권선의 여자가 결정되기 때문에 일종의 동기전동기라고 볼 수 있다. SRM에 있어서 각 상의 여자서기와 여자시간을 결정하는 각도는 여러가지의 요소가 포함되어 있는 복잡한 함수관계로 되어 있다. 이들 각도는 권선에 흐르는 전류파형과 크기, 출력 그리고 전동기의 효율 등과 밀접한 관계가 있다. 또한 이들 값의 올바른 선택은 여러가지의 전동기 속도 및 부하조건에 따라 최적의 전동기 성능을 내기 위해서는 필수적이다. 이 때문에 SRM을 적절히 구동하기 위해서는 반드시 회전자의 위치에 관한 정보가 필요하다. 동기전동기나 유도전동기의 벡터제어와 같은 운전에 있어서는 회전자의 정확한 위치 정보를 필요로 하지만, SRM에 있어서의 고정도의 위치센서는 범용화 할 전동기로서는 비용문제가 있어서 부적합하다. 따라서 고분해능을 갖는 레졸버나 절대형 엔코더(absolute encoder) 또는 증분형 엔코더(incremental encoder)와 같은 것 보다는 훨씬 단순한 위치 센서가 필요로 하다. 다행히 저분해능의 위치 센서를 사용하더라도 SRM을 운전하는 것이 가능하다. 홀센서나 회전지와 같은 모양의 원판에 포토카발

리를 사용한 단순한 엔코더로서 인어낸 신호를 이용하더라도 SRM에 여자신호를 만들 수 있다.

본 연구에서는 전동기의 회전자와 모양이 같은 원판을 제작하고 여기에 포토 카발리를 부착하여 위치 검출을 위한 센서로 사용하였다. 센서에서 검출된 신호는 파형정형을 거처서 필요한 논리신호로 변환되고, SRM의 상권선 여자를 결정하는 신호를 만들기 위해 논리 소자로서 각 신호를 조합하였다. 여기서 발생된 신호로서 SRM을 구동하는 인버터의 동작신호로 사용하였다. 이러한 위치센서에 의한 SRM의 운전은 실험실에서 제작한 6/4 SRM의 피시험용 전동기와 결합하여 검토하였다.

2. SRM의 동작

SRM은 전압원 또는 전류원으로서 구동될 수 있다. 보통 전압원으로서 구동되며, 전압원 구동시의 제어대상은 전압의 크기, 여자개시각도 및 여자기간이다. 보통 전압제어는 직류전원측을 가변하든지 혹은 PWM방법에 의한 직류류평균전압을 제어한다. 여자개시 각도와 여자기간은 위치센서에 의해 검출된 신호를 사용하여 스위칭 소자의 동작시점을 결정한다. 이러한 각도들은 전동기가 사용되는 전체 구동 시스템의 성능을 개선하기 위한 방법에 의해서 결정된다.

SRM에서의 토오크는 전류가 흐르는 상에 있어서, 자기회로의 릴럭턴스가 최소가 되려는 방향 - 즉 상의 인덕턴스가 최대가 되는 방향으로 회전자가 움직이도록 작용한다. 토오크 T는 다음 식으로 주어진다.

$$T(\theta, i) = \frac{\partial W'(\theta, i)}{\partial \theta} \quad \text{-----(1)}$$

$$= \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta}$$

여기서, i는 고정자 권선에 흐르는 전류의 크기, L은 여자된 상의 인덕턴스, W'은 여자된 상의 자기 코에너지이며, θ 는 회전자의 위치이다. 이 식에서 알 수 있듯이 발생하는 토오크는 전류의 제곱에 비례하므로 전류의 방향과는 무관하며, 이는 전동기를 구동하는 인버터의 구성 및 동작을 쉽게 한다. 전동기의 평균 토오크는 권선의 전류를 적절한 시기에 흘려 줌으로써 양의

토크(전동기 동작)와 음의 토크(제동 동작)로 적절히 제어될 수가 있다.

3. 구동용 인버터

SRM을 구동하기 위한 인버터는 여러가지 종류가 발표되어 있다. 전압원으로 구동할 때, 주로 사용되는 구동방법은 상당 2개의 스위치가 있는 회로로서 종래의 유도전동기용 인버터 구성과 비슷하다. 비록 다른 구동회로에 비하여 많은 스위치를 사용하고 있으나, 가장 보편적인 4상한 SRM인버터로서 구성이나 운전 방법이 간단하다. 이 인버터의 주요 특징으로는 어떠한 경우에라도 독립적으로 각 상의 전류를 제어할 수가 있으며, 다른 인버터에 비해서 스위칭 소자가 낮은 전압 정격을 갖는다는 것과 감자시 전원전압의 크기로서 빠르게 상의 전류를 줄일 수 있다는 것이다. 그림 1은 이 회로를 나타내고 있다.

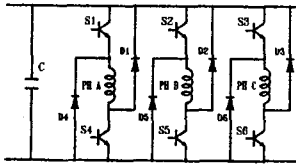


그림 1. SRM구동용 인버터 회로

스위칭 소자를 동작시키는 신호를 얻기 위한 일반적인 방법은 회전자 위치 센서로부터 얻어내는 것이다. 본 연구에 사용된 회전자 위치 검출센서로는 회전자와 모양이 같은 원판을 회전자 축에 설치하고, 여기에 기계각으로 $\pi/6[\text{rad}]$ 만큼 이동된 3개의 포토카플러를 설치하여 전동기의 회전자가 1회전당 각각 4개의 펄스신호를 얻도록 구성하였다. 각각의 포토카플러 출력은 논리 소자에 사용이 가능한 레벨로 변환되고, 각 상을 여자하기 위한 신호를 얻어 내기 위해 논리소자를 이용하였다.

그림 2는 본 연구에서 사용한 회전자 위치검출센서의 모양을 나타내고 있다.

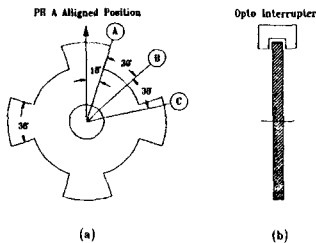


그림 2. 회전자 위치 검출센서

(a) 위치센서용 원판 (b) 위치 센서의 측면도

인버터 스위치의 동작은 전동기의 모양과 구동조건에 의존한다. 즉 전동기의 고정자와 회전자의 각도 및 정역 혹은 전동동작과 제동동작의 상태에 따라 다르다. 그러므로 이들의 동작에 관한 정보에 따라 센서들의 수, 센서의 위치 및 원판의 모양 등을 결정할 수 있다.

본 연구에서는 6/4 전동기용으로 3개의 센서를 사용하였다.

그림 2(a)는 전동기의 회전자가 a상과 완전히 정렬되었을 때, 즉 회전자의 자극축과 고정자 a상의 자극축이 일치되었을 때 각 센서의 위치를 나타내고 있다. 그리고 그림 2(b)는 센서의 측면도이다.

여러가지의 SRM 기하학적 구성에 있어서 꼭 이러한 모양의 센서로서는 최적의 성능을 얻을 수는 없었지만, 목적에 맞도록 적당한 제어 방법을 추가함으로써 가능한 것이다. 그리고 본 연구에 사용된 위치센서가 모든 종류의 SRM에 적용이 가능한 것은 아니다. 그러나 고정자 자극수 6, 회전자 자극수가 4인 구성의 SRM에 대해서는 상여자 시간이 기계적인 각도로 $\pi/6[\text{rad}]$ 를 유지할 수가 있고, 특히 정지시에도 어떠한 방향으로나 원하는 방향으로 즉시 기동시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

센서 a는 a상의 자극축으로 부터 $18[\text{deg}]$ 만큼 이동된 곳에 위치해 있다. 이러한 구성에 대해서 전동기의 회전 각도에 대한 상 임피던스 및 위치센서의 출력신호를 그림 3에 나타낸다.

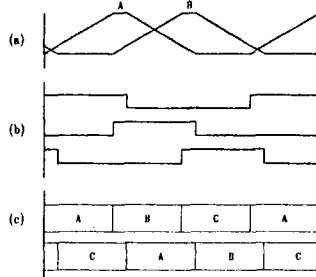


그림 3 SRM의 상 인덕턴스, 센서출력 및 여자 가능시간
(a) 상 인덕턴스 (b) 위치센서의 출력 (c) 여자 가능시간

여기서 또한 전동기가 시계방향 또는 반시계방향으로 회전을 계속하기 위해 필요한 상여자 기간은 그림 3(c)에 나타낸다. 물론 그림 3(a)의 인덕턴스 모양은 자기회로가 선형적이라고 가정한 이상적인 경우에 대해서이다. 6/4 구성의 전동기가 연속적인 전동 토크를 발생하기 위해서는 최소로 필요한 인덕턴스의 변화기간은 $\pi/6[\text{rad}]$ 보다 커야 한다. 그리고 또한 상여자의 시간이 $\pi/6[\text{rad}]$ 를 초과하면 초과한 만큼 각 상간의 전류 중첩시간이 발생한다.

그림 3(c)는 전동기를 시계방향으로 회전시키고자 할 때에 있어서의 상여자 시퀀스이다. 시계방향으로 회전을 시키고자 할 경우에는 a->b->c->a상의 순으로 상여자를 한번 가능하다.

이미 앞에서 말했듯이, SRM의 상여자는 전동기의 운전 특성과 밀접한 관계가 있다. 항상 원하는 출력특성을 얻기 위해서는 전동기의 부하조건 및 회전속도에 따라 전동기의 입력전압, 여자시기 및 여자기간의 조정이 필요하다.

본 연구에서는 전동기가 기동한 후 어느 실정속도에 도달하면, 실정 속도 이상의 범위에서는 상권선의 여자시기 및 여자시간을 변경하도록 하였다.

전동기의 속도가 증가함에 따라 전동기의 상권선에 유기되는 역기전력도 증가한다. 그러므로 필요한 권선전류를 확립하기 위

해서는 상권선의 인덕턴스가 상승하기 시작하는 시점보다 앞서 상권선을 여자할 필요가 있다. 또한 전동기 속도의 증가에 따라 상권선에서의 전류 감소에 필요한 시간도 줄어든다. 그러므로 효율적인 전동기의 운전을 위해서는 상권선의 인덕턴스가 최대 값에 도달하기 이전에 미리 상스위치를 오프시켜야 할 필요가 있다.

본 연구에서는, 위치센서의 출력으로 부터 쉽게 얻을 수 있는 신호 파형을 이용하여 상권선 여자의 기준신호로 설정하고, 또한 속도 증가에 대한 검출전압은 이들 기준 신호를 직분기를 사용하여 얻었다. 직분기의 출력 전압은 이용하여 상권선 여자 기준신호를 적절히 위상 이동을 시켜 상권선 여자에 필요한 실제의 신호를 만들었다.

그리고 상권선 여자용 기준 신호는 전동기가 어느 방향으로 회전을 하더라도 상인덕턴스의 위치를 기준으로 할 때, 위치의 변화가 없으므로 정역운전에 모두 사용된다.

끝으로 위의 직분기의 출력전압을 외부에서 적절한 세어기를 추가함으로써 상권선 여자 신호를 연속적으로 가변하는 것은 물론이며, 따라서 원하는 전동기의 운전특성을 얻는 것도 가능하다.

4. 시뮬레이션 및 실험결과

본 장에서는 간단한 위치 센서를 사용한 SRM구동 시스템의 전류 파형과 시뮬레이션에 의한 파형을 비교 고찰한다.

그림 4는 SRM이 400[RPM]으로 운전할 때, 전동기의 상권선에 흐르는 전류에 대한 시뮬레이션 파형과 인덕턴스 모양을 나타내며, 그림 5는 상권선에서 측정한 전류파형 및 센서 a의 출력신호이다.

전동기 속도에 대하여 실제의 전류파형과 시뮬레이션 파형이 잘 일치 함을 알 수 있다.

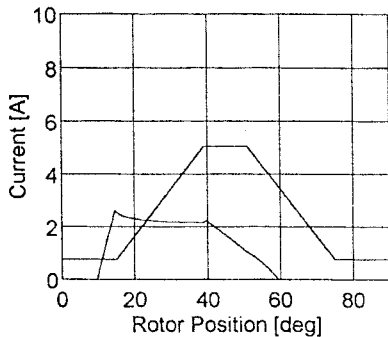
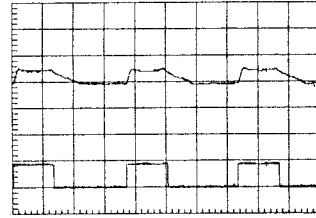


그림 4. SRM의 전류파형 - 시뮬레이션 (400rpm)



4 A/div, 10 ms/div

그림 5. SRM의 전류파형 - 실측파형 (400 rpm)

5. 결론

본 논문에서는 간단한 위치센서를 사용한 SRM 구동시스템에 대하여 검토하였다. 구동시스템에 사용한 위치센서는 SRM 회전자와 비슷한 모양의 원판과 3개의 포토인터럽터를 사용하여 제작하고 기동시에 필요한 여자신호는 논리 소자를 이용하여 얻어 내었다. 정역 회전 모두에 같이 적용될 수 있는 기준 신호를 얻어 내고, 이 기준 신호를 전동기 속도에 따라 적절히 위상 이동을 시켜서 운전 중의 상여자 신호를 만들었다. 시뮬레이션과 실험결과를 통하여, 본 연구에서 제시한 간단한 위치센서로서 SRM을 잘 구동할 수 있음을 증명하였다.

참고문헌

- [1] P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkinsop, J. Corda, and N. N. Fulton, " Variable speed reluctance motors," IEE Proc., vol. 127, pt. B, no. 4, pp. 253-265, July 1980.
- [2] P.H.Chappell, W.F.Ray and R.J.Blake, " Microprocessor control of a variable reluctance motor," IEE Proc., vol. 131, pt.B, pp. 51-60, Mar. 1984.
- [3] M.Ehsani, J.T.Bass, T.J.E.Miller and R.L.Steigerwald, " Development of a Unipolar Converter for Variable Reluctance Motor Drives," IEEE Trans. Indu. Appl., vol.IA-23, no.3, pp.545-553, May/June 1987.
- [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. Indu. Appl., vol.27, no.3, pp.531-538, May/June 1991.
- [5] R. C. Becerra, M. Ehsani, and T. J. E. Miller, "Commutation of SR Motors," IEEE Trans. on Power Elec., Vol. 8, No. 3, pp. 257-263, July 1993.