

새로운 회전자검출 방법에 의한 8/6 스위치드 리럭턴스 모터 속도 제어

박영록, 정도영, 이봉섭, 이상호, 천동진**

삼척대학교, *삼척시청

Speed Control of 8/6 Switched Reluctance Motor Using New Rotor Position Detection Techniques

Y.R. Park, D.Y. Jung, B.S. Lee, S.H. Lee, D.J. Cheon*

Samchok National University, *Samchok City Hall

Abstract

This paper proposed new techniques of rotor position detection for Switched Reluctance Motor(SRM). This technique is very simple and easy to find out rotor position. The main idea uses the impulse responses which have different values between aligned and unaligned. In order to obtain the rotor position, the impulse applied to the unenergized phases and their responses are analyzed to control the speed of SRM without shaft sensor. Experimental results verify the feasibility of the proposed method.

최근 위치정보를 간접적으로 얻는 방식인 센서리스 속도제어에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다.^[4]
^[5] 센서리스(Sensorless)는 회전자 축으로부터 위치정보를 얻기위하여 축에 직접적으로 연결된 엔코더나 타코제너레이터를 사용하는 것이 아니라, 상전류를 Open Loop로 제어하면서 회전자의 위치에 대한 정보를 간접적으로 얻는 것을 의미한다.

1.1 SRM의 동작원리

8/6 SRM은 그림 1과 같이 구조가 간단하고 이중 돌극형 구조로 되어있다.

1. 서 론

디지털 기술의 발전으로 다른 전동기에 비해 속도 제어가 어려웠던 Switched Reluctance Motor (SRM)가 최근 들어 각광을 받고 있다. 왜냐하면 Switched Reluctance Motor(SRM)은 DC 전동기의 가장 큰 단점인 브러쉬와 회전자의 권선을 제거하였고, 경제적인 면과 효율적인 면에서도 우수하기 때문이다.^[1,2]

SRM은 전자석의 원리로 구동되기 때문에 회전자의 위치정보를 정확히 파악하여 고정자권선을 여자할 필요가 있다. 특히 SRM의 순간토크는 회전자와 고정자의 상대적위치에 따라 매우 민감하게 나타나므로, 위치 정보를 측정하기 위하여 회전자 축에 위치를 알 수 있는 센서의 부착이 필수적이다. 이러한 위치센서의 부착은 구동회로의 복잡성과 운전비용을 증가시키기 때문에 SRM의 단점으로 지적되고 있다.^[3]

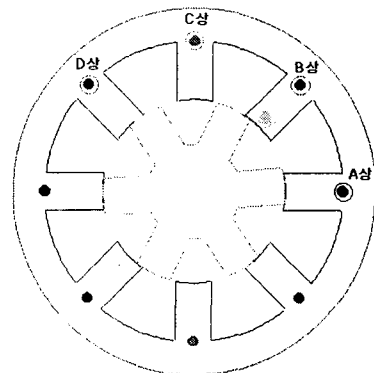


그림 1. 4상 8/6 SRM 구조

SRM의 동작원리는 전자석의 원리와 같이, 고정자 권선이 여자가 되면 근접한 회전자는 여자된 고정자와 정렬이 되려는 방향으로 토크가 작용한다.

즉, 회전자 위치의 변화에 따라 인덕턴스가 달라지므로 토크는 여자권선의 자기저항이 최소가 되는 위치에서 발생하게 되며, 발생토크는 식 (1)로 표시된다.

$$T = \frac{1}{2} i(\theta)^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (1)$$

여기서, T , $d\theta$, i 는 각각 토크, 고정자에 대한 회전자 위치의 변위, 순시 전류 값이며, $L(\theta, i)$ 는 고정자와 회전자 사이의 인덕턴스이다.

1.2 인덕턴스 프로파일

SRM은 회전자와 고정자의 구조가 모두 돌극형으로 이루어져 있기 때문에 인덕턴스는 회전자의 위치에 따라 변하게 되며, 회전자의 극피치(Rotor pole pitch)가 한 주기가 된다.

그림 2는 기본적인 리럭턴스 모터(Fundamental Reluctance Motor)의 인덕턴스를 나타내며, 다음 식과 같이 표현된다.

$$L(\theta) = L'' + L' \cos 2\theta \quad (2)$$

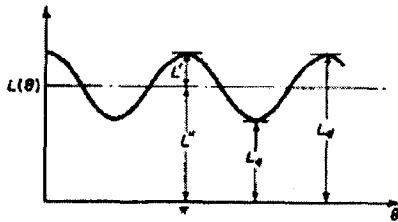


그림 2 회전자의 위치에 따른 인덕턴스 변화

식 (2)에서 인덕턴스의 변화는 단지 회전자의 위치에만 관계되므로, 이 값을 적당한 방법으로 검출하게 되면, 회전자의 위치를 추정할 수 있다.

2. 회전자위치 검출 방법

본 연구에서 제안한 회전자 위치 검출방법은 여자되지 않는 상으로부터 인덕턴스의 변화를 추적하고 값을 얻는다. 즉, 여자되지 않은 상에 임펄스를 가하고, 그 응답들을 조합하여 인덕턴스 값을 추정한다.

2.1 인덕턴스 프로파일과 임펄스 응답

8/6 SRM은 4개의 상이 순차적으로 여자되면서 토크가 발생되며, 어떠한 고정자극에서도 인덕턴스는 회전자의 위치에 따라 그 크기가 달라진다.

임의의 고정자극 권선에 임펄스를 인가하여 응답을 측정하면, 회전자의 위치에 따라 응답의 크기는 인덕턴스 프로파일의 크기와 유사한 형태를 갖는다.^[6] 한 상을 여자시키고, 한 사이클(Rotor pole pitch) 동안 회전자의 위치에 따라 임펄스 응답을 측

정하면 응답의 크기(Impulse amplitude)는 그림 3과 같이 나타나며, 8개의 구간(region)으로 나누어 생각할 수 있다. 여기서 임펄스의 크기는 시정수의 2배에 해당되는 2τ 에서 측정값을 비교한다.

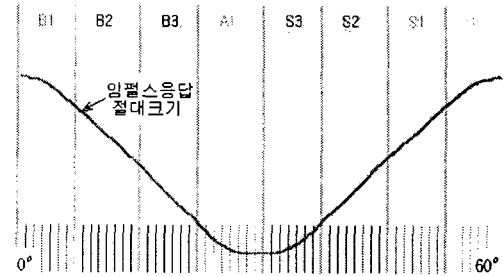


그림 3 한 사이클 동안의 임펄스 응답

그림 3에서 한 구간의 간격은 약 7.5도씩 나누어진다. 여기서, B_1, B_2, B_3 는 Break 구간을 나타내며, A_1 은 Advanced 구간 및 S_3, S_2, S_1, S_0 는 Stroke 구간을 나타낸다.

2.2 위치 추정 알고리즘

그림 4는 그림 1과 같은 8/6 SRM의 B상이 어느 한 순간 여자되었을 경우에 각 상 임펄스 응답의 절대크기를 나타낸다.

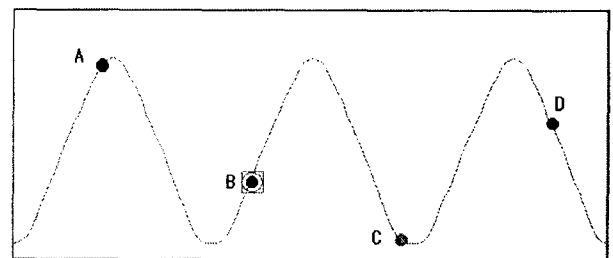


그림 4 B상 여자시 각 상 임펄스 응답의 절대크기

그림 4에서 A상의 절대크기는 그림 3의 S_0 구간에 해당되며, B상은 S_2 구간, C상은 A_1 구간 및 D상은 B_2 구간에 해당된다. B상의 여자가 완료되면 C상이 여자되어야 하는 것은 당연하다. 이와같이 비 여자상의 임펄스 응답의 절대크기를 비교하여 다음 여자될 상을 찾을 수 있다면, 위치센서 없이 SRM의 속도제어가 가능할 것이다.

표 1은 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 모터가 회전하였을 때, 추정된 각 상의 임펄스 응답의 크기를 나타내며, 회전자의 위치는 반드시 8개의 경우 중에서 하나에 해당하게 된다.

표 1. 임펄스 응답의 크기와 상들의 구간상태

| 상순위(ABCD) | A | B | C | D |
|-----------|----|----|----|----|
| 0132 | S3 | B3 | B1 | S1 |
| 1023 | S2 | A1 | B2 | S0 |
| 2013 | S1 | S3 | B3 | B1 |
| 3102 | S0 | S2 | A1 | B2 |
| 3201 | B1 | S1 | S3 | B3 |
| 2310 | B2 | S0 | S2 | A1 |
| 1320 | B3 | B1 | S1 | S3 |
| 0231 | A1 | B2 | S0 | S2 |

표 1의 상순위 숫자는 각 상에 나타나는 임펄스 응답의 크기를 가장 큰 것으로부터 3, 2, 1 및 가장 작은 것을 0으로 표기한 것이다. 여기서 크기가 같은 경우는 무시하고, 단지 크기의 차이가 나는 구간만 위치 추정에 사용한다.

한편, 여자된 상에서는 고정자 권선의 포화로 임펄스 응답특성이 잘 나타나지 않는다. 그러므로 3개의 비여자상 임펄스 응답으로부터 여자상의 임펄스 크기를 추정할 필요가 있다.

고정자권선 A상, B상, C상 및 D상의 임펄스 크기를 **A**, **B**, **C**, 및 **D** 라면, 다음 식(3)으로부터 여자상의 임펄스 크기를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A &= (B+D)/2 + ((B+D)/2-C) & (3) \\
 B &= (A+C)/2 + ((A+C)/2-D) \\
 C &= (B+D)/2 + ((B+D)/2-A) \\
 D &= (A+C)/2 + ((A+C)/2-B)
 \end{aligned}$$

2.3 속도에 따른 제어방법

본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 8/6 SRM의 속도를 제어하기 위해서는 저속, 중속 및 고속으로 나누어 제어해야 할 필요가 있다.

표 2는 속도에 따라서, 8개의 구간이 어떻게 동작되어야 하는가를 보여준다.

표 2. 속도에 따른 구간별 동작모드

| | A1 | S3 | S2 | S1 | S0 | B1 | B2 | B3 |
|----|--------|--------|----|--------|--------|-----|-----|-----|
| 저속 | OFF | OFF/ON | ON | ON | ON/OFF | OFF | OFF | OFF |
| 중속 | OFF | ON | ON | ON/OFF | OFF | OFF | OFF | OFF |
| 고속 | OFF/ON | ON | ON | ON/OFF | OFF | OFF | OFF | OFF |

표 2에서 ON, OFF 동작모드의 의미는 다음과 같다.

- OFF/ON: 속도에 따라 OFF/ON 상태의 시간을 조절한다.
- ON : 무조건 ON 한다.
- ON/OFF: 속도에 따라 ON/OFF 상태의 시간을 조절한다
- OFF : 무조건 OFF 한다

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션

그림 5는 8/6 SRM의 한 상이 여자되었을 경우, 구간별 회전자 상태와 비여자된 3개의 상으로부터 여자된 한 상의 값을 추적하는 것을 시뮬레이션 한 것이다.

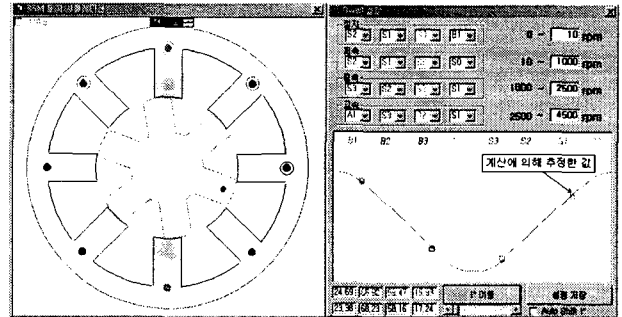


그림 5 8/6 SRM의 위치 추정 시뮬레이션

3.2 실험 결과

그림 6은 본 논문에서 제안한 시스템 구성도를 나타낸다.

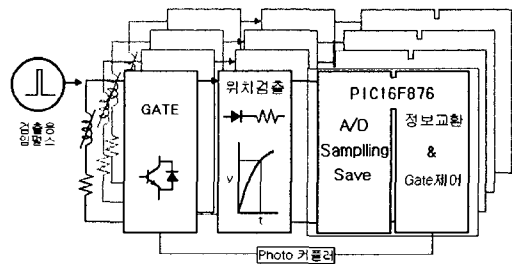


그림 6 시스템 구성도

그림 6에서 각 상마다 프로세서를 사용하여 검출 속도를 높였으며, 4개의 원칩 마이크로프로세서에서 얻은 정보는 서로의 값을 교환하고 처리한다. 임펄스 응답을 얻기 위하여, 위치 검출 회로로부터 50 μs 시간 후의 전압을 측정하여 A/D 변환하였다.

그림 7은 한 상이 S₃ 구간에 있을 때, 임펄스 응답을 측정하는 것이다. 그림 7에서 가장 위의 파형이 A상의 임펄스 응답의 크기를 나타낸다.

그림 8은 한 상이 여자되었을 때, 다른 3개의 상에 나타난 샘플 홀딩파형을 나타낸다. 그림 8에서 샘플링된 값들이 일정시간동안 임펄스 신호를 홀딩하게 된다. 홀딩된 값은 회전자의 위치에 따라 크기가 명확히 구분되어 짐을 알 수 있다.

그림 9는 본 논문에서 제시한 방법으로 8/6 SRM을 저속으로 운전하였을 때, 한 상의 전압과 전류파형을 나타낸다.

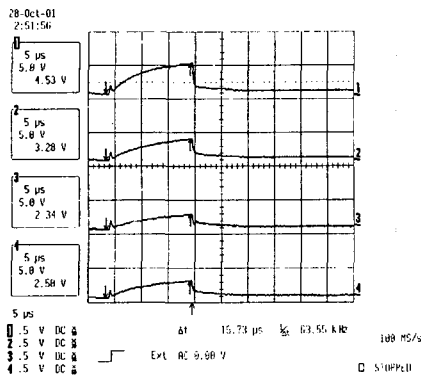


그림 7 A상이 S₃ 구간에 있을 때 임펄스 응답

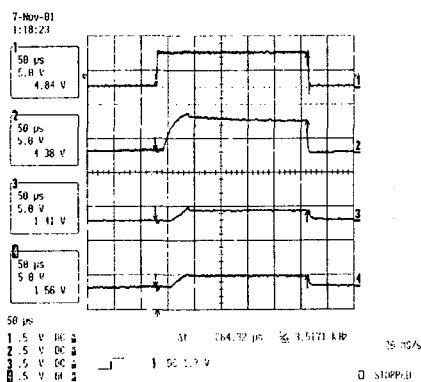


그림 8 한 상이 여자되었을 때의 샘플 홀딩값

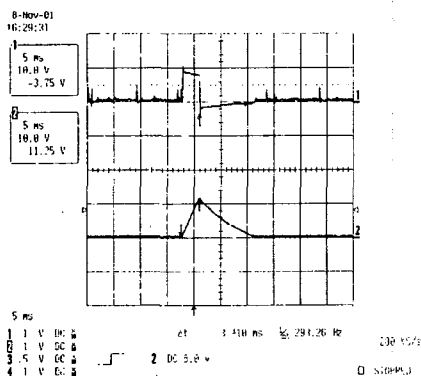


그림 9 한 상의 전압과 전류파형(50rpm)

4. 결 론

본 연구는 일정한 임펄스 신호를 고정자권선에 인가하여 SRM의 인덕턴스 변화를 검출하는 방법을 제시하였다. 즉, 비여자된 상에 임펄스를 가하고, 그 결과를 홀딩한 후, 마이크로 프로세서에 의하여 A/D 변환을 한다. 각각의 검출된 변환값은 병렬로 연결

된 마이크로 컨트롤러에 정보가 보내지고 인덕턴스를 추정한다. 여자된 상의 인덕턴스는 다른 상들로부터 얻은 임펄스의 크기를 이용하여 추정한다.

이 방법은 SRM의 센서리스 속도제어를 구현하기 위하여 기존의 방법과 같이 Look-up 테이블에 의존하거나, 상전류를 검출할 필요 없이, 다른 상들과의 임펄스 응답 관계로만 검출하여 구동함으로써 간단하고 유용하다는 것을 실험을 통해 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Magna Physics publishing and Clarendon Press. OXFORD, 1993.
- [2] M. Ehsani, S. Mahajan, K.R. Ramani and I. Husain, "New Modulation Encoding Technique for Indirect Rotor Position Sensing in Switched Reluctance Motors", IEEE Annual Meeting, pp. 430-438, 1992.
- [3] 천동진, 정도영, 이상호, 이봉섭, 박영록, "간단한 위치 검출기를 이용한 SRM 가변속 디지털 제어시스템 개발", 전력전자학회 논문집 제6권 제2호, pp. 202-208, 2001. 4.
- [4] P. Laurent, M. Gabsi and B. Multon, "Sensorless Rotor Position Analysis Using Resonant Method for Switched Reluctance Motor", IEEE IAS Annual Meeting, pp.687-694, 1993.
- [5] Y.J. Wang etc. "Rotor Position Detection of Switched Reluctance Motors Using FM Technique", International Conference on Control Applications IEEE, pp. 939-944, 1999
- [6] 박영록, 정도영, 이진, 천동진, "스위치드 리럭턴스 모터의 새로운 회전자 위치검출 방법", 전력전자학회 강원지부 학술대회 논문집, 제2권 1호, pp. 1-6, 2001. 11.