

# SRM의 상전류 패턴을 이용한 회전자 위치 검출기법

김태형, \*이동희, 안진우  
경성대, OTIS-LG\*

## The position detecting method in SRM using pattern of phase current

Tae-Hyoung Kim, Dong-Hee Lee\*, Jin-Woo Ahn  
Kyungseung Univ., \*OTIS-LG

### ABSTRACT

This paper describes a novel method of detecting excitation position in switched reluctance motor(SRM) drive. Some strategies of position sensorless control methods for the motor include the measurement of phase current and applied pulse voltage in an unexcited phase is suggested. The principle of the estimation of a rotor position is based on the detection of inductance by pulse currents. This sensorless method is very simple to detect excitation position estimation and gives efficient control of drive system. Suggested method is verified by some simulations.

사용하나 단가가 상승하게 된다. 따라서 설치비용에 대한 부담을 줄이기 위해서 저가형 엔코더를 사용하거나 이를 완전히 제거하기 위한 센서리스 구동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이웃하지 않는 상에 극히 짧은 시간의 펄스 전압을 인가하고 그에 따른 상전류의 변화를 검출하여 대상이 되는 상의 여자시기를 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 상의 여자시기 검출방식은 정지 및 기동시에도 별도의 회전자 위치 검출을 위한 연산없이 수행이 가능하여 기존의 기동에 대한 문제를 해결하였다. 연산과정이 배제됨에 따라서 광범위한 속도영역에서 안정된 속도제어가 가능하고 엔코더를 제거하여 제어기 저가격화를 구현하고자 하였다. 이를 위하여 수치해석도구를 SRM의 비선형모델을 구성하고 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 가능성을 살펴봐왔다.

### 1. 서 론

시장경쟁체제하에서 낮은 제작단가 더불어 저렴한 유지 관리비용은 시스템의 성능과 함께 전동기구의 개발에서 반드시 고려되어야 할 필수적인 요소이다. 이에 따라 근래 자동화시스템에는 브러시리스 전동기의 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 대표적인 브러시리스 전동기구조로 돌극형 회전자와 돌극형 고정자 그리고 고정자권선만으로 구성된다. 이와 같이 단순한 구조에 의해 전동기 자체의 저렴하고 견고하며, 환경적인 요인에도 강인하다, 또한 단위면적당 발생토크가 높고 직류 직권 전동기의 속도-토크 특성을 가지고 있어 선진국을 중심으로 가전기기, 전기자동차, 항공기 및 산업전반에 걸쳐 그 응용영역을 확대해가고 있다.<sup>[1][2]</sup>

반면에 SRM은 토크발생기구상 회전자 위치검출이 필수적이라는 취약점을 가지고 있다<sup>[3]</sup>. 회전자 위치각의 검출을 위해 일반적으로 엔코더나 레졸버 등 외부 장치를

### 2. 상전류를 이용한 여자시기의 검출

그림 1은 일반적으로 제시되고 있는 인덕턴스 추론기법을 통한 센서리스 제어기법의 원리를 나타내고 있다<sup>[4]</sup>.

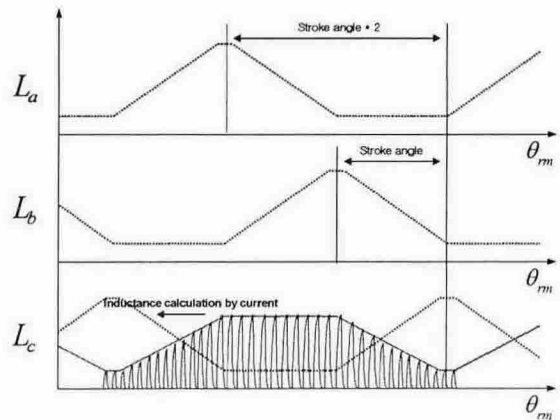


그림 1. 인덕턴스 추론기법에 의한 센서리스 기법  
Fig 1. Sensorless Control of SRM with Inductance Reasoning Method

인덕턴스 추론기법은 여자되지 않은 상에 짧은 펄스 형태의 검출전류를 인가하고 검출된 전류를 전압방정식을 기반으로 해석, 여자되지 않은 상의 인덕턴스를 연산한다. 연산된 인덕턴스를 통하여 전동기의 기계적 관계에 적용 각상의 인덕턴스 계산하고 이에 따른 회전자위치를 검출하는 방식이다. 이러한 인덕턴스 추론기법의 주요 문제점은 3상 SRM의 경우 완전히 쉬는 상이 존재하지 않는다는 것이다. 4상 SRM의 경우 A상여자시 C상과 중첩되는 구간이 없으므로 한 A상의 한주기 동안 C상을 통해 인덕턴스를 추론할 수 있으나 3상의 경우 각상당 중첩되는 구간이 존재하므로 이때 주입된 상전류는 시스템에 부적합한 영향을 끼치게 된다. 또한 인덕턴스 연산을 위한 과정보도 복잡하다.

그림 2는 본 논문에서 제시되면 상전류 패턴에 의한 여자시기의 검출법이다. 제안된 방법은 인덕턴스 추론기법과 동일하게 짧은 시간동안 펄스형태의 전압을 인가한다.

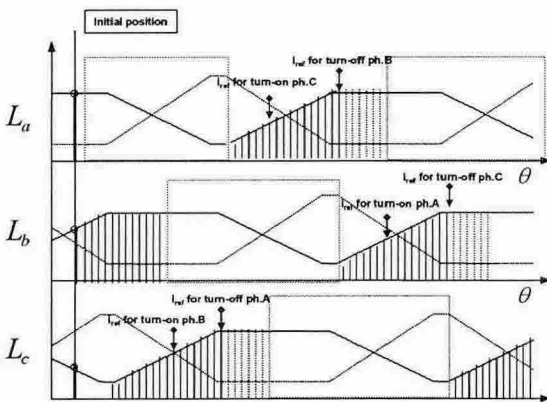


그림 2. 상전류 패턴에 의한 센서리스 기법  
Fig. 2 Sensorless with current pattern

펄스형 전압은 여자 대상의 회전방향으로 인접하지 않은 상에 인가된다. 인가된 전압에 의해 발생한 상전류는 전류센서를 통하여 검출한다. 검출된 전류는 상의 턴-온의 기준치인  $i_{ref\_on}$ 과 상의 턴-오프의 기준치인  $i_{ref\_off}$ 와 비교되어 상 스위치의 여자에 이용된다.

초기시 여자 될 상의 검출 문제는 동시에 각 상에 펄스형 전압을 인가하고 검출전류의 크기와 원하는 회전방향을 이용하여 결정된다. 검출된 전류의 크기가 상이할 경우에는 가장 큰 값을 갖는 상에 여자전원을 인가한다. 검출된 각상의 전류 중 2개가 유사할 경우 전동기의 구조에 따른 회전방향으로 토크를 발생시키는 상에 여자전원을 인가한다.

### 3. 검출용 펄스전압의 조건 및 정도

본 논문에서 인가되는 펄스형 전압은 각 상의 여자

영역을 제외한 구간에서 인가되며 이는 반드시 토크에 영향을 끼치지 않는 범위의 전류값을 가져야 한다. 아래 식 (1)은 각 상에서 펄스전압이 인가될 수 있는 범위의 시간을 나타낸다. 이 범위에서의 펄스의 수와 고정자수의 곱은 제안되는 기법의 분해능을 나타내게 된다. 따라서 12/8 SRM에서 해당시간에 100번의 펄스를 줄 경우 전체 검출전류는 1200회 발생되고 이를 기준으로 상의 여자시기를 검출한다. 이는 증분형 엔코더의 해상도 1200펄스와 같은 효과를 가질 수 있다.

$$t_{area} = \frac{60}{2v_r N_r} [\text{sec/pole}] \quad (1)$$

아래 그림 3은 인가된 펄스 전압의 형태를 나타낸다. 여기서 검출전류의 크기를 결정하는 요소인 T는 1/100 [ms] 단위로 결정하여 주입할 수 있다. 마이크로 프로세서를 이용한 경우 [ $\mu$ s]단위의 명령주기를 가지므로 [ms] 단위의 명령주기는 현실상 가능한 범위에 있다. 또한 이 시간 내의 전류의 크기  $i_p$ 는 식(2)와 같이 형성되고 이때 토크는 식(3)과 같이 발생되며 그 크기는 매우 미약하다. 그러므로 전체 전동기의 구동에는 영향을 주지 않는다.

$$i_p = \frac{V_s}{L(\theta)} T \quad (2)$$

$$T_e = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (3)$$

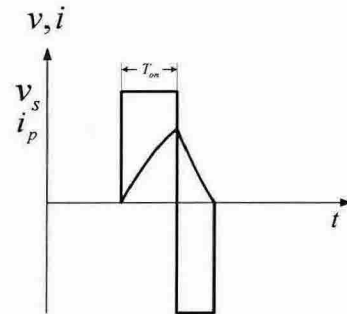


그림 3 펄스전압 인가시 상전압 및 상전류 파형  
Fig. 3 Waveform of phase voltage and current when pulse applied

### 4. 시뮬레이션 결과

실험에 앞서 Simulink를 통하여 상전류의 패턴에 따른 여자시기의 검출을 시뮬레이션 하였다<sup>[5]</sup>. 시뮬레이션의 대상이 된 전동기의 사양은 표 1과 같다. 이를 기반으로 그림 4와 같이 수치모델을 작성하였으며, 기준속도는 1000[rpm], 직류단 전압은 300[V]를 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 상전류는 10[A]에서 전류제한 하였고 속도제어에는 pi제어를 적용하였다.

표1. 시뮬레이션 전동기의 사양

table 1. The specification of the designed motor

Stator pole number	12
Rotor pole number	8
Stator outer diameter	132mm
Rotor inner diameter	74mm
Number of phase	3
Core length	28.7mm
Air gap length	0.250mm
Stator pole arc	18[deg.]
Rotor pole arc	14[deg.]
Winding resistance per phase	0.536 Ω
Number of turn per phase	200 Turn
Rotor inertia	4.430e-04 kg · m <sup>2</sup>
Friction coefficient	0.00001 N · s / rad

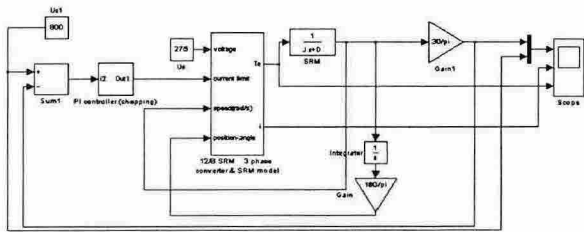


그림 4. Simulink를 통한 SRM 구동 모델

Fig. 4 The Model of SRM drive system in Simulink

그림 5와 그림 6은 수치모델을 통하여 구현된 센서리스의 상전압과 이에 따른 상전류를 나타낸다.

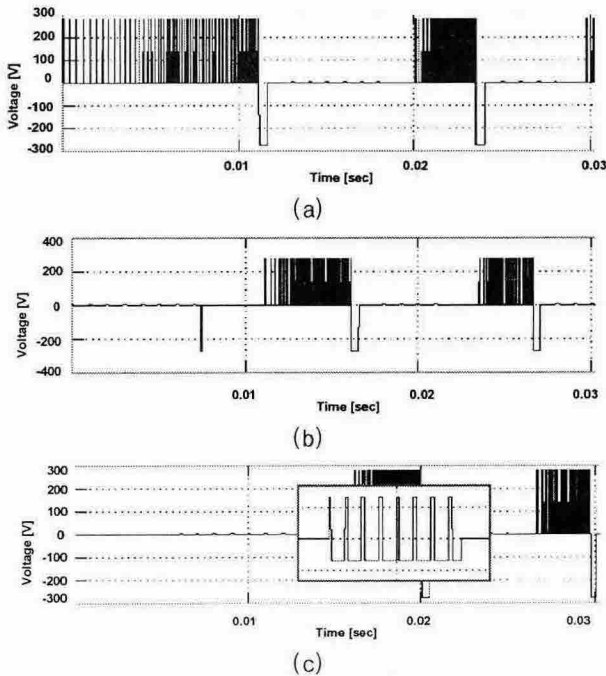


그림 5. 상전압 파형(a) a상 (b) b상 (c) c상

Fig. 5 Voltage waveform of each phase(a) ph. a (b) ph. b (c) ph. c

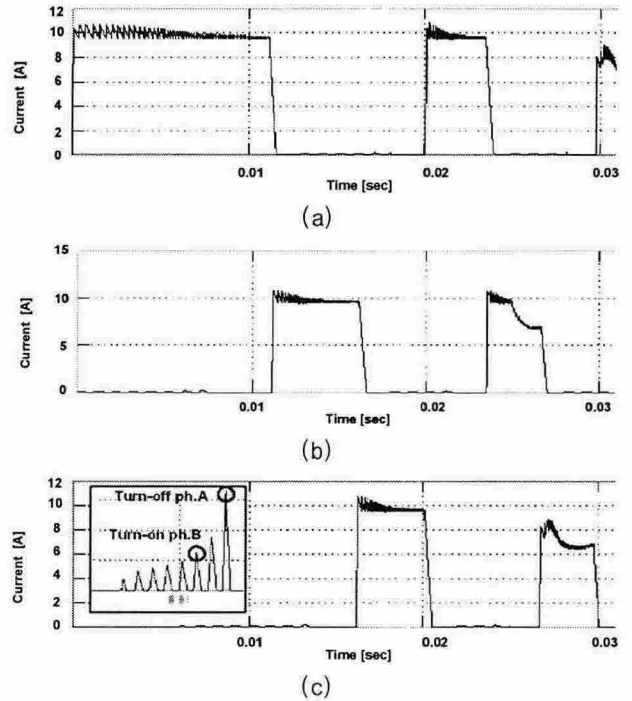


그림 6. 상전류 파형(a) a상 (b) b상 (c) c상

Fig. 6 Current waveform of each phase(a) ph. a (b) ph. b (c) ph. c

그림 5에서 초기 구동시에는 모든 상에 펄스형 전압이 인가되며 검출된 전류가 가장 큰 a상에 토크 발생을 위한 상전류가 여자된다. a상의 여자구간에서 c상에 그림 5의 (c)와 같이 펄스 전압이 인가되고, 이에 의해 그림 6의 (c)와 같이 인덕턴스에 따라 상전류가 변화하게 된다. c상에서 검출된 상전류는 스위치의 온오프 기준값과 비교되어 상여자에 이용되고 이에 따라 제어된 상전류와 토크는 그림 7과 같다. 결과와 같이 적절히 상의 여자가 이루어짐을 알 수 있다.

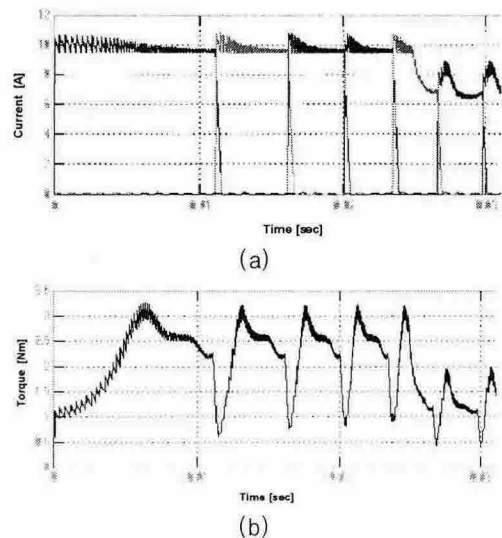


그림 7. 전류 및 토크 파형 (a) 전류, (b) 토크

Fig. 7 Waveform of current and torque(a) current, (b) Torque

## 5. 결 론

본 논문에서는 SRM의 저가격화 및 제어기 구조의 단순화를 위하여 상전류의 발생패턴을 고려하고, 이를 통하여 이웃하지 않는 상에 검출전류를 극부적으로 인가하여 단순한 비교를 통한 센서리스 제어기법을 제안하였다. 제안된 기법의 효용성을 검증하기 위하여 수치해석 모델을 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 상전류 발생패턴에 따른 단순한 상전류 비교를 통하여 상전압의 인가시기를 결정할 수 있었으며 이에 따라 시스템의 적용이 가능함을 검증할 수 있었다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제 번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

## 참 고 문 헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, pp. 364~418, 2004
- [2] P. J. Lawrenson. "A Brief Status Review of Switched Reluctance Drives", EPE Vol. 2, No. 3, pp. 133-144, 1992.
- [3] M. Ehsani, I. Husain, A. B. Kulkarni, "Elimination of discrete position sensor and current sensor in switched reluctance Mototr Drives", IEEE Trans on IA, Vol.28, pp.128-135, 1992
- [4] 안진우, 박성준, 김태형, "SRM의 센서리스 제어를 위한 인덕턴스 추론기법", 전력전자학회 논문집 제 8권 5호, pp.427~434, 2003.10
- [5] Ji Lili, Chen hao, "Nonlinear modeling and simulation of switch reluctance motor drive system based on Matlab" Journal of Southeast University, Nov. 2004 pp.149-154 Vol.34 Sup.