

SRM의 상전류를 이용한 센서리스 방식의 여자시기 검출기법

김태형, 이동희, 안진우  
경성대

An Excitation Position Detecting Method Using Phase Current for Sensorless Control of SRM

Tae-Hyoung Kim, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn  
Kyungsung Univ.

**Abstract** - This paper describes a novel method of detecting excitation position in Switched Reluctance Motor(SRM) drive. Some strategies for position sensorless control methods of the SRM include the measurement of phase current. The principle of the rotor position estimation is based on the detection of phase current according to rotor position. This sensorless method is very simple to detect excitation position estimation and gives efficient control of drive system. The suggested method is verified by some simulations and experimental tests

한 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 살펴보고 있다.

1. 서 론

2. 상전류를 이용한 여자시기의 검출

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

시장경쟁체제하에서 낮은 제작단가 더불어 저렴한 유지 관리비용은 시스템의 성능과 함께 전동기구의 개발에서 반드시 고려되어야 할 필수적인 요소이다. 이에 따라 최근 브러쉬레스 전동기의 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 대표적인 브러쉬레스 전동기 구조 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.[1][2]

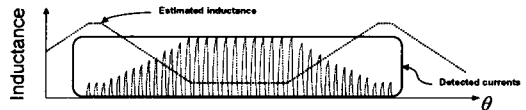


그림 1. 인덕턴스 추론기법에 의한 센서리스 기법  
Fig. 1. Sensorless Control of SRM with Inductance Reasoning Method

반면에 SRM은 토크발생기구상 회전자 위치검출이 필수적이라는 취약점을 가지고 있다[3]. 회전자 위치각의 검출을 위해 일반적으로 엔코더나 레플버 등 외부 장치를 사용하나 단가가 상승하게 된다. 따라서 설치비용에 대한 부담을 줄이기 위해서 저가형 엔코더를 사용하거나 이를 완전히 제거하기 위한 센서리스 구동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

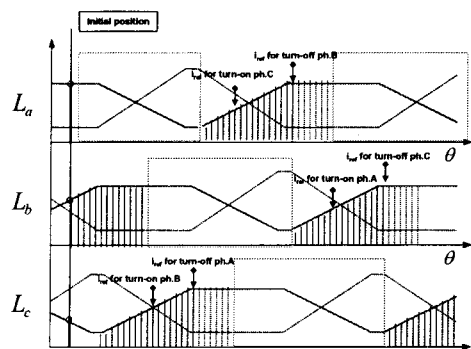


그림 2. 상전류 패턴에 의한 센서리스 기법  
Fig. 2. Sensorless with current pattern

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 검출의 연산없이도 상여자 위치를 결정할 수 있으므로 기존의 기동에 내

인덕턴스 추론기법은 여자되지 않은 상에 짧은 펄스 형태의 검출전류를 인가하고 검출된 전류를 전압방정식을 기반으로 해석, 여자되지 않은 상의 인덕턴스를 연산한다. 연산된 인덕턴스를 통하여 이에 따른 회전자 위치를 검출하는 방식이다. 이러한 인덕턴스 추론기법의 주요 문제점은 3상 SRM의 경우 완전히 쉬는 상이 존재하

지 않는다는 것이다. 4상 SRM의 경우 a상 여자시 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 되며 인덕턴스 연산을 위한 과정도 복잡하다.

그림 2는 본 논문에서 제시된 상전류 패턴에 의한 여자시기의 검출법이다. 제안된 방법은 인덕턴스 추론기법과 동일하게 짧은 시간동안 펄스형태의 전압을 인가되게 되지만, 이때 인가되는 펄스형 전압은 여자 대상의 회전 방향으로 인접하지 않은 상에 인가된다.

인가된 전압에 의해 발생된 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. 즉, 테스트 펄스인가에 의한 전류의 초종 크기만을 비교하여 상 여자 시기를 결정하는 방식이다.

본 연구에서 제안된 기법의 전체 흐름은 그림 3과 같으며 기능에 따라 크게 스위칭 패턴의 결정, 회전자의 정지/회전 상태검출 및 기동을 위한 상의 결정, 정지상태에서의 구동, 회전상태에서의 연속구동 등 총 4부분으로 구성된다.

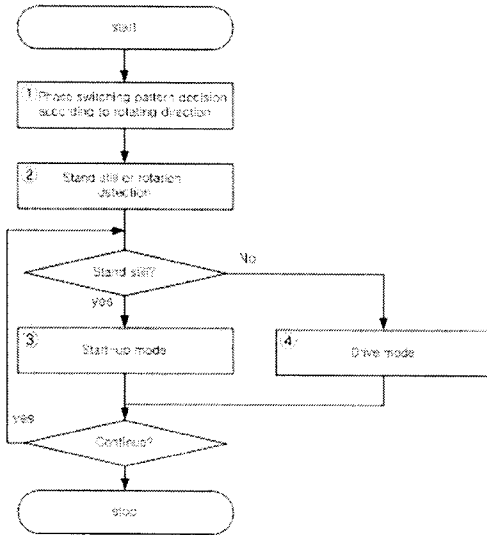


그림 3. 제안된 기법의 제어 흐름도  
Fig. 3 Control flowchart of proposed method

### 2.1 스위칭 패턴의 결정 및 운전상태의 검출

스위칭 패턴의 결정은 정지 상태에서의 초기 여자상의 결정, 회전상태에서 다음 여자 대상이 될 상의 결정에 이용되는 중요한 정보로 그림 4와 같은 과정으로 결정된다. 사용자의 요구에 의해 시계방향과 반시계방향의 회전방향을 정하고 이에 따라 상의 여자 순서를 a상-b상-c상, a상-c상-b상으로 정한다.

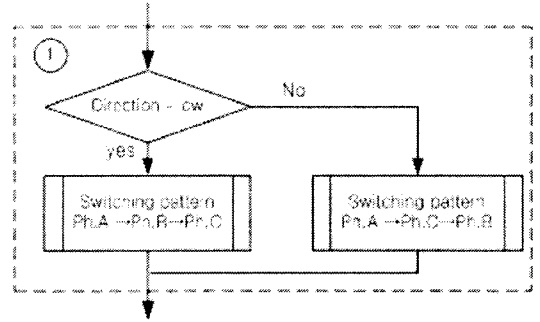


그림 4. 스위칭 패턴의 결정  
Fig. 4 Switching pattern selection

스위칭 패턴이 결정되어지면 기동모드와 구동모드의 판별은 그림5 과 같이 각 상에 2번의 펄스 형태의 상전압을 인가한다. 펄스형태의 상전압을 인가후 발생하는 상전류의 크기가 동일할 경우 회전자는 정지상태이며, 발생하는 상전류의 크기가 상이할 경우 회전상태로 판별된다.

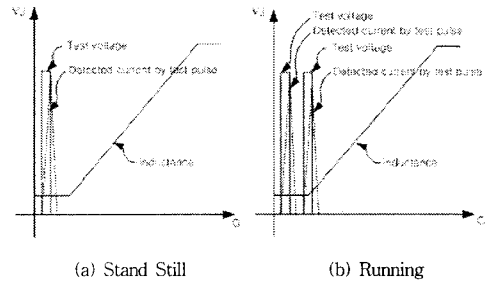


그림 5. 회전자 구동상태 검출  
Fig. 5 Detection of rotor condition

### 2.2 기동시 상의 여자 위치 결정

기동모드일 경우 모드판별에서 얻어진 각 상의 검출 전류크기를 통하여 회전을 위해 여자될 상의 위치를 결정한다. 회전자의 위치에 따라 얻어지는 상전류 크기에 따른 여자위치의 경우는 그림 6에 나타난 12가지로 구분되며 이에 따라 정지시 구동을 위해 여자되는 상은 표 1의 내용과 같다.

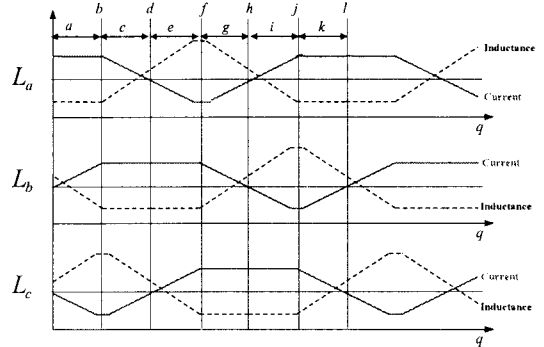


그림 6. 회전자 위치에 따른 검출전류의 크기  
Fig. 6 Size of detected current according to rotor position

표1. 검출전류 크기에 따른 기동시 여자상

Table 1 Excitation phase with detected current at start up

	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>	Target	In fig 6
1	high	middle	low	ph. b	a
2	high	high	low	ph. b	b
3	middle	high	low	ph. b	c
4	middle	high	middle	ph. b	d
5	low	high	middle	ph. c	e
6	low	high	high	ph. c	f
7	low	middle	high	ph. c	g
8	middle	middle	high	ph. c	h
9	middle	low	high	ph. a	i
10	high	low	high	ph. a	j
11	high	low	middle	ph. a	k
12	high	middle	middle	ph. a	l

### 2.3 운전시 상여자시의 검출 및 검출전압

기동모드 또는 외부부하에 의해 회전하게 되면 그림 3의 구동모드로 전환하며 이전 과정에서 판별된 현재 여자상의 정보를 이용하여 그림 7과 같은 흐름으로 상의 턴-온, 턴-오프 시기를 제어한다.

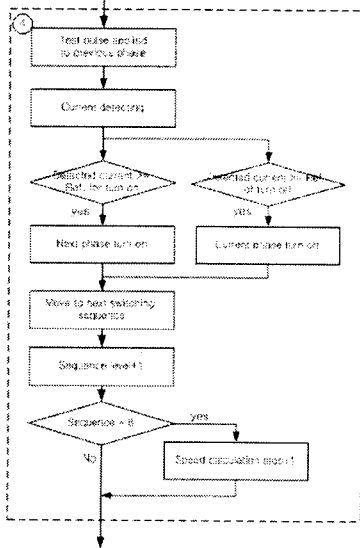


그림 7. 운전시 흐름도

Fig. 7 Control flowchart during drive sequence

구동모드에서는 그림2와 같이 이웃하지 않은 상에 펄스 형태의 전압을 인가하는 것으로 여기서 이웃하지 않은 상은 스위칭 패턴상에서 이전상에 해당된다. 펄스형 전압은 그림 8과 같은 형태로 인가되고 이에 따른 전류를 검출하게 된다. c상에 펄스형 전압을 검출되는 전류는 우선 각각 현재 여자된 상 즉 a상을 턴-오프하기 위해 사용자가 설정한 기준전류, 다음 여자 되어야 할 상, 즉 b상을 턴-온 하기 위해 설정된 기준전류와 비교된다. 만일 검출된 전류가 a상을 턴-오프하기 위한 기준전류보다 높거나 같을 경우 a상은 턴-오프한다. 만일 검출된 전류가 b상을 턴-온하기 위한 기준전류보다 높거나 같을 경우 b상전류보다 크거나 같을 경우 b상은 턴-온 한다. 인가되는 펄스형 전압은 소프트 초핑을 통하여 생성

되는 전류의 값이 비교적 연속적으로 변화하게 처리하였다. 이는 시지연으로 인한 전류 검출시 오차를 줄이고 턴-온 기준전류 및 턴-오프 기준전류와의 단순 비교시 이점을 발생시킬 수 있다.

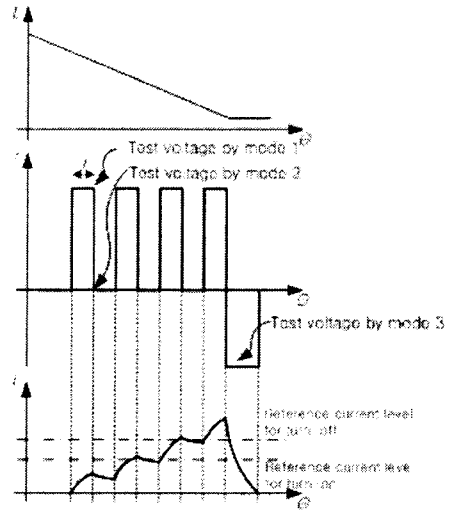


그림 8. 인가된 검출전류

Fig. 8 Tested current

### 3. 시뮬레이션 및 실험결과

실험에 앞서 Simulink를 통하여 제안된 기법을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 대상이 된 전동기의 사양은 표 2와 같다. 이를 기반으로 그림 9와 같이 수치모델을 작성하였다.

표2. 시뮬레이션 전동기의 사양

table 2. 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

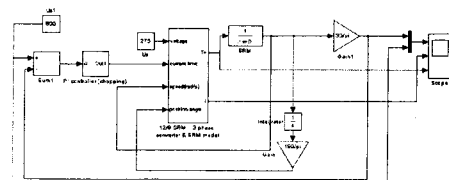


그림 9. Simulink를 통한 SRM 구동 모델

Fig. 9 The Model of SRM drive system in Simulink

그림 10은 수치모델을 통하여 구현된 센서리스의 상전류를 나타낸다. 그림 11은 시뮬레이션을 바탕으로 실험을 통하여 얻어진 결과를 나타낸다. 시뮬레이션과 실험 결과에서 제안되어진 기법에 의해 각상별 여자시기가 적절하게 결정되어짐을 알 수 있다.

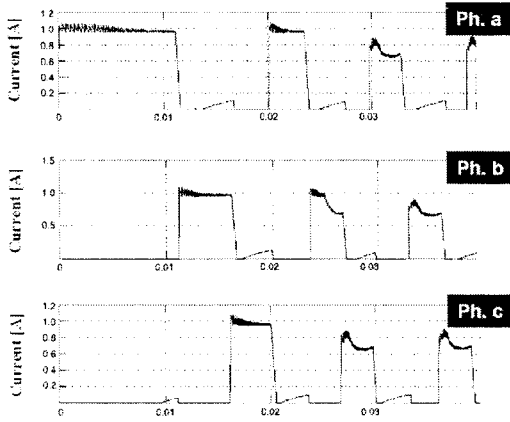


그림 10. 시뮬레이션에 의한 상전류 파형  
Fig. 10 Current waveform of each phase with simlink

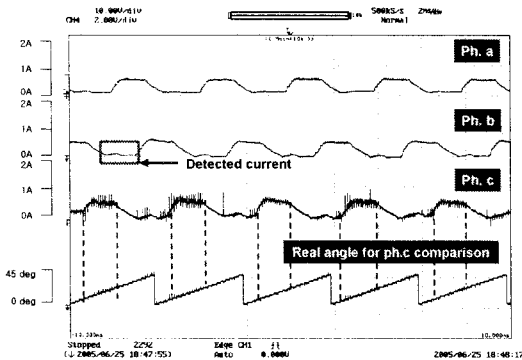


그림 11. 실험에 의한 상전류 파형  
Fig. 11 Current waveform of each phase with test

#### 4. 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 시뮬레이션 및 실험을 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 (과제번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

#### [참고문헌]

- [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.