

# 4/2 스위치드 릴럭턴스 모터의 새로운 초기 기동 알고리즘

안민재, 김재훈, 김래영†

한양대학교

## A New Start-Up Algorithm for 4/2 Switched Reluctance Motor

Min-Jae Ahn, Jae-Hoon Kim, Rae-Young Kim

Hanyang University

### ABSTRACT

본 논문은 스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)의 센서리스 초기 기동을 위한 새로운 방법을 제안한다. 일반적으로 정지된 SRM을 기동하기 위해서는 회전자 위치정보가 필요하고 이는 전동기의 전압방정식을 이용하여 얻을 수 있다. 간단한 상 전환 알고리즘을 이용하여 이를 구현하였다. 상 전환이 이루어지는 시점은 히스테리시스 전류 제어기를 사용하여 전류제어 범위를 벗어나는 현상을 통해 찾아 내었다. 검증에는 4/2 SRM을 사용하였고 센서를 하나만 사용하여[1] 전류를 제어하는 방식을 적용하였다. 이 알고리즘의 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 모터는 다른 전동기와 달리 회전자에 코일을 감거나 자석이 부착되어 있지 않아 강인한 특성을 가진다. 그래서 관성 모멘트가 작고 높은 속도를 가질 수 있다. 하지만 전동기를 기동하기 위해서는 위치정보가 필요하고 위치정보를 얻기 위해서 센서를 이용하는 방법이나 센서를 사용하지 않고 위치를 추정하는 방법을 적용해야 한다. 센서를 이용한 방법은 시스템의 비용을 증가시키고 열악한 환경에서 신뢰성을 떨어뜨린다. 그래서 전동기의 전압방정식을 이용한 센서리스 방법을 이용한다. 제안한 방법은 상 전류의 파형을 통해 위치정보[2]를 알아내어 상전환 하는 알고리즘이다.

인덕턴스 프로파일은 전류가 일정하고 선형적이라고 가정하여 위치정보를 얻기 위한 알고리즘을 구현하였다. 그 가정한 근거로 전동기의 전압방정식을 통해 전류파형을 분석하여 상전환 시점을 알아내었다. 실험을 통하여 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 2. 스위치드 릴럭턴스 전동기의 구동원리

SRM은 고정자와 회전자가 모두 돌극형 구조를 가지고 있고 다른 전동기들과 달리 회전자에 코일이나 자석이 부착되어 있지 않기 때문에 SRM은 릴럭턴스 토크만을 가진다. 다음 식 1은 SRM의 토크 방정식이다.

$$T = \frac{1}{2} i_{ph}^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (1)$$

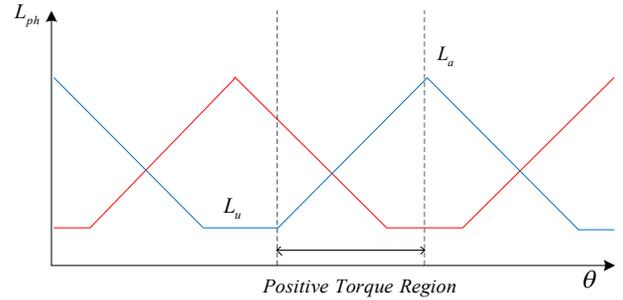


Fig. 1. A inductance profile of the SRM.

토크 방정식에서도 알 수 있듯이 인덕턴스가 증가하는 구간에서 정 토크가 발생하고 감소하는 구간에는 부 토크가 발생한다. 식 1을 통해 인덕턴스가 증가하는 시점에서 전류가 흘러야 SRM을 구동시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 1에서 인덕턴스가 가장 큰 시점이 Align상태이고 인덕턴스가 가장 작은 시점이 Unalign상태이다. 두 상을 비교해 보면 한 상이 Align되었다면 나머지 한 상은 Unalign되었다는 것을 알 수 있다. 그래서 상을 전환해야 하는 시점이 현재 여자 된 상이 Align되었을 때라고 할 수 있다. 이 가정을 통해 상 전환 알고리즘을 구현하였다.

### 3. 상전환 알고리즘

#### 3.1 SRM의 전압방정식

SRM의 전압방정식은 아래 식 2 와 같다.

$$V_s = Ri + L(\theta) \frac{di}{dt} + i\omega \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (2)$$

여기서  $V_s$ 는 상 전압,  $i$ 는 전류,  $R$ 은 권선저항,  $L$ 은 상의 인덕턴스  $\omega$ 는 각속도를 의미한다. 식 2의 전압방정식을 전류의 시간 변화량으로 변경하면 아래 식 3과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s - i\omega \frac{dL(\theta)}{d\theta} - Ri}{L(\theta)} \quad (3)$$

상을 여자 시키면 히스테리시스 전류제어기를 통해 제어를 하여 윗 상만 스위치를 온/오프 시킨다[3].

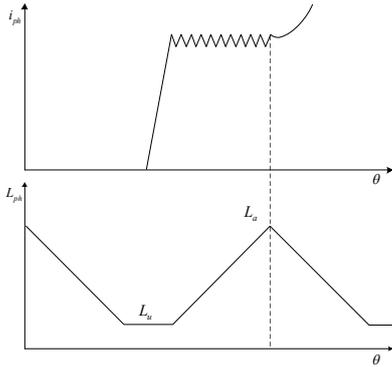


Fig. 2. A inductance profile of the SRM and Current waveform during Hysteresis current control.

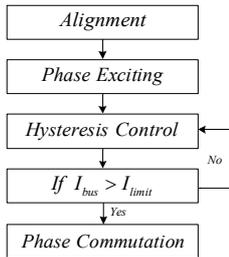


Fig. 3. Control algorithm flowchart for commutation.

스위치가 켜진 상태에서는 상에  $V_{dc}$  전압이 걸리게 되고 꺼진 상태에서는 전압이 0이 걸리는데 그림 1에서 볼 수 있듯이 인덕턴스가 감소되는 시점에서는 식 3이 양이 되게 되어 전류가 증가하게 된다. 이 시점에서는 히스테리시스 제어를 통해 전류가 감소해야 하지만 스위치가 오프 된 상태에서 전압이 0이 걸리게 되고 역기전력항에 의해 전류가 상승하는 현상이 나타난다. 그림 2를 보면 전류제어가 되지 않는 시점이 발생한다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 기동 알고리즘

기동 알고리즘은 그림 3의 순서로 이루어 진다. 초기에 상의 위치를 알 수 없기 때문에 한 상만 여자 시켜 Align시킨 후에 그 다음 상을 여자시키는 방법을 사용한다. 여자된 상은 히스테리시스 제어를 통해 정해진 전류크기를 벗어나면 상전환이 일어나도록 한다.

## 4. 실험 결과

실험장치는 다음 그림4와 같이 구성하였다. 알고리즘의 검증은 위해서 전동기는 청소기용 4/2 SRM을 사용하였다. 제어보드는 TI사의 TMS320F28335를 사용하고 파워보드는 일반적인 비대칭 컨버터로 구성하였다.

히스테리시스 전류제어를 위한 기준전류는 5A로 하였고 기준전류를 벗어나는 현상을 이용하여 제어가 되지 않는 지점에서 상 전환을 하여 전동기를 구동하였다. 그림 5에서 위쪽에 위치한 두 파형은 각각 전류와 기준전류를 나타낸다. 밑에 위치한 파형은 current probe로 읽은 A상 전류 값이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 전류제어 범위를 벗어나는 지점을 찾아 상 전환을 하여 전동기를 구동하였다.

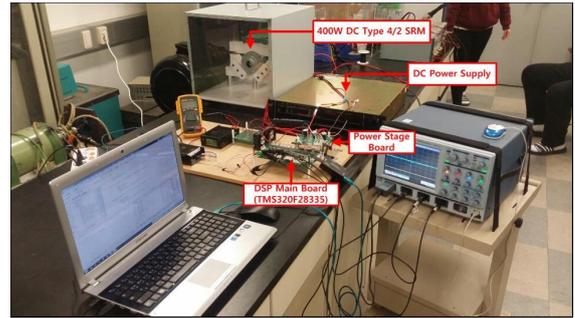


Fig. 4. Experimental setup of start up for SRM drive.

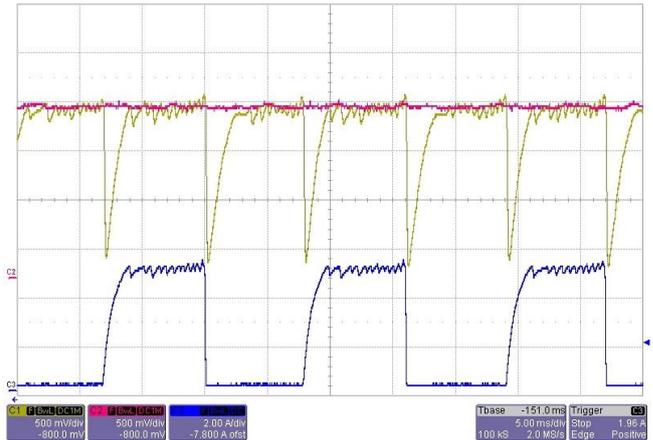


Fig. 5. The current waveform for a 5A reference current.

## 5. 결 론

본 논문은 히스테리시스 전류제어를 통해 전류제어가 되지 않는 시점을 상전환 시점으로 추정하여 초기 기동에 대한 새로운 알고리즘을 제안했다. 실험을 통해 제안된 알고리즘의 활용 가능성을 확인하였다.

제안된 알고리즘은 그 구성이 간단하고 전동기의 파라미터 변동에 인한 영향이 없다는 점이 장점이다. 또한 초기기동 시에 전류정보만으로 기동할 수 있다는 장점이 있다. 향후 상전환 시점에 대한 정확한 분석을 통해 좀 더 효율적인 운전이 가능하도록 연구할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] G. Gallegos-Lopez and P. C. Kjaer, "Single-sensor current regulation in switched reluctance motor drives," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 34, no. 3, pp. 444-451, May/June 1998.
- [2] P. P. Acarnley, R. J. Hill, and C. W. Hooper, "Detection of rotor position in stepping and switched reluctance motors by monitoring of current waveforms," *IEEE Trans on Industrial Electronics*, vol. IE-32, pp. 215-222, 1985.
- [3] T. W. Ching, K. T. Chau, and C. C. Chan, "A novel zero-voltage soft-switching converter for switched reluctance motor drives," in *Proc. 24th Annu. IEEE Industrial Electronics Society Conf.*, vol. 2, 1998, pp. 899-904.
- [4] H. Le-Huy and P. Brunelle, "A versatile nonlinear switched reluctance motor model in Simulink using realistic and analytical magnetization characteristics," in *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE*, Nov. 2005, pp. 1556-1561.