

역기전력을 이용한 단상 SRM의 센서리스 구동

선한걸, 웅먼카이, 신덕식*, 임영철
 전남대학교, 전자부품연구원*

The Sensorless Drive For Single Phase SRM Using The Back EMF

H. G. Sun, M. K. Nguyen, D. S. Shin*, Y. C. Lim
 Chonnam National University, Korea Electronics Technology Institute*

ABSTRACT

본 논문에서는 역기전력을 이용하여 단상 스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 추정법과 구동 법을 제안한다.

단상 SRM은 일반 모터와 비교하여 구조가 매우 간단하고 3상 모터와 비교하여 권선결선이 간결하며, 스위칭 소자가 적게 사용되므로 드라이버회로가 간단하여 가격이 저렴한 특징을 가지고 있다. 이러한 SRM을 구동하기 위해서는 필수적으로 회전자의 위치정보를 알아야 한다. 일반적으로 회전자의 위치를 검출하기 위하여 회전자 위치센서를 사용한다. 그러나 대부분의 위치 센서들은 복잡하고 시스템에 구축비용을 증가 시킬 뿐만 아니라 구동시스템의 신뢰도를 저하시키는 경향이 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 역기전력을 이용한 회전자의 특정위치 검출방법을 제안하였으며 이에 적합한 스위칭을 통해 SRM을 구동하였다. 또한 시뮬레이션과 실험을 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

단상 스위치드 릴럭턴스 전동기(Single Phase Switched Reluctance Motor)는 모든 회전자의 극이 고정자의 극과 동시에 접하므로 토크가 발생하지 않는 불활성 영역(dead zone)이 존재하여 자기동(self-starting)이 되지 않기 때문에 정지용 자석을 사용하거나 기동을 위한 특수한 형태의 회전자를 사용하여야 하며 3상 스위치드 릴럭턴스 전동기에 비해 토크리플이 심하기 때문에 토크리플 저감 방법에 관한 연구도 활발히 진행 중이다.[1]

단상 SRM을 구동하기 위해서는 다상 SRM과 마찬가지로 적절한 위치에서 스위치를 온, 오프 하여야 하므로 회전자 위치센서가 필요하게 된다. 이러한 회전자 위치센서로는 주로 엔코더, 홀센서, 포토 인터럽터 등을 사용한다.[2]-[3]

그러나 이러한 위치 센서들은 모터의 부피를 증가시키고 가격 상승의 원인이 되며, 고온이나 고압과 같은 환경에서 사용 시에는 전체 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리게 된다. 이런 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 서치코일이 장착된 3상 SRM과 단상 SRM이 연구되어지고 있다.[4]-[5] 서치코일을 이용한 회전자 위치검출 방법 또한 서치코일을 모터에 장착해야하는 불편함이 따르게 된다.

본 논문에서는 역기전력을 이용하여 회전자의 특정한 위치를 검출하여 구동하는 방법을 제안한다.

실험에 앞서 전자기 해석 프로그램인 Maxwell 2D™를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 회전자의 위치에 따른 역기전력의 유기전압 파형을 이용한 회전자 위치 검출의 가능성을 검토하고 실험을 통해서 제안한 방법을 증명하였다.

2. 구동회로

본 논문에서 사용된 단상 6/6 SRM의 구동회로는 제어 성능이 우수하며 상 당 스위치를 최소화하여 경제적 구동이 가능한 비대칭 인버터를 사용하였다.

그림 1은 본 논문에서 사용된 단상 SRM의 구동회로도이며 역기전력은 권선의 단자전압을 검출함으로써 얻을 수 있다.

이 인버터의 동작원리는 Q1과 Q2를 모두 turn-on 시켜 DC 전원 전압을 권선에 인가하고, 고정자와 회전자가 정렬되기 전에 두 개의 스위치를 모두 turn-off 시켜 권선에 흐르는 전류, 즉 에너지를 전원 측으로 환원시킴으로써 인덕턴스가 부의 기울기로 변하기 전에 소멸되도록 하거나 이로 인한 부 토크의 발생을 억제할 수 있다.

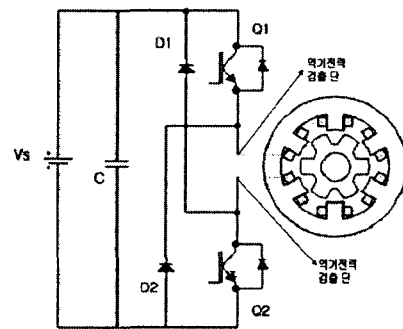


그림 1 단상 구동회로
 Fig. 1 Single phase drive circuit

3. 역기전력 파형 분석

SRM은 회전자가 고정자와 만나기 시작하는 부분(overlap point)부터 자속이 증가하며, 회전자와 고정자가 완전히 정렬될 때, 최대값이 되며 그 이후부터 감소되기 시작한다.

역기전력은 패러데이의 법칙에 의해 자속의 시간변화에 따라 전압이 유기되는데 이때의 유기되는 전압을 역기전력이라 한다.

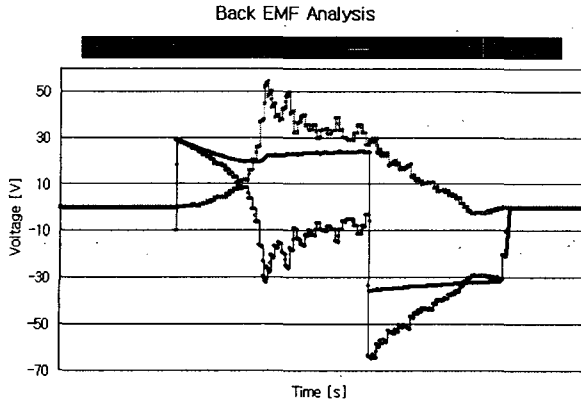


그림 2 역기전력 분석 파형
Fig. 2 Analysis waveform of the Back EMF

역기전력의 파형을 보면 기계적으로 고정자 돌극에 자속이 유기되어 회전자가 고정자 돌극에 도달하면서 부터는 자속이 급격하게 증가하게 되고, 인덕턴스 또한 증가하므로 전류는 감소하게 된다. 그러므로 역기전력의 변화를 관찰하여 위치를 추정할 수 있다.

그림 2는 역기전력의 성분을 Maxwell 2D™를 사용하여 분석한 시뮬레이션 파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이 역기전력은 변압기 기전력과 속도 기전력의 합으로 나타난다. 따라서 역기전력은 변압기의 원리와 발전기의 원리에 의해 유기됨을 알 수 있다.

역기전력은 식 (1)과 같이 표현 할 수 있는데, 상전류의 변화에 의한 시변 쇄교자속은 변압기 기전력(transformer EMF) 성분이고, 회전자의 회전에 의해 자기 인덕턴스 변화로 발생하는 시변 쇄교자속은 속도 기전력(motional EMF) 성분이다.

일정한 각속도 ω 로서 동작하고, 권선의 저항과 철심의 자기적인 비선형을 무시한다고 가정하면,

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega$$

L: 인덕턴스
i: 상권선의 전류
 ω : 회전속도

위식에서 알 수 있듯이 인덕턴스와 상전류의 변화율, 전류와 인덕턴스의 변화율에 의해서 역기전력이 결정된다.

스위치가 ON된 시점에서는 전류의 변화가 급격하게 변화하므로 변압기 기전력이 상승하지만 인덕턴스의 변화는 적기 때문에 속도기전력은 적다. 그러나 overlap point에서 인덕턴스가 증가하기 때문에 속도기전력이 급격하게 증가하게 된다.

그러므로 overlap point에서 역기전력은 급격한 변화를 나타내고 이 부분을 검출 할 수 있다.

4. 역기전력의 검출

역기전력은 AD변환기를 통해 제어기로 입력된다. 입력된 기전력은 그림 3과 같이 overlap point에서 급격하게 변화하게 된다. 따라서 그 부분을 검출하면 회전자의 위치를 추정할 수 있게 된다.

6극 단상 SRM의 경우 매 60°마다 그 점을 검출하게 된다.

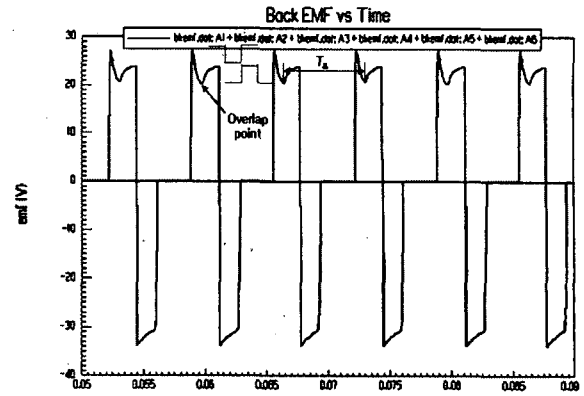


그림 3 역기전력의 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation waveform of Back EMF

따라서 overlap point를 6번 검출하면 1회전 했다는 것을 알 수 있다. 역기전력의 정(+)의 기전력이 나타나는 구간이 ON되는 구간을 나타내며, 이 구간에서만 회전자의 위치 정보를 담고 있다. T_s 는 이전 상에서의 토크 발생 시작점과 현재 ON되고 있는 상의 토크 발생 시작점을 시간으로 나타낸 값이다. 6극 단상 SRM의 경우 위치적으로 60°를 나타내고, 60°를 T_s 로 나타낸 현재의 각속도를 가리킨다.

따라서 속도는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{60^\circ}{INT_s \times T_s} \times \frac{60[\text{sec}]}{1[\text{min}]} \times \frac{1[\text{revolution}]}{360^\circ} \quad (2)$$

INT_s : 60도 회전시 인터럽트 개수(샘플링 개수)
 T_s : 인터럽트(샘플링)주기

현재의 속도를 알고 토크 발생구간 시작점을 검출 하면, 다음과 같이 overlap point 검출 이후 오프 시키고자 하 (1)는 각도 θ_{off} 후에 스위치 오프가 가능하다.

$$n_{off} = \frac{INT_s}{60^\circ} * \theta_{off} \quad (3)$$

n_{off} : θ_{off} 가 될 때까지의 인터럽트 개수

다음 상에서 적절한 어드밴스 θ_{adv} 를 주고 스위치를 온 시키기 위해서는 식 (4)와 같이 n_{on} 만큼의 인터럽트 후에 스위치를 온 시키면 된다.

$$n_{on} = \frac{(60^\circ - \theta_{adv})}{60^\circ} * INT_s \quad (4)$$

그림 4는 토크 발생구간 시작점을 검출하기 위한 방법으로 역기전력의 파형과 그것의 미분 파형이다. 미분 파형에서 알 수 있듯이 토크 발생구간 시작점을 미분 파형을 이용하면 쉽게 검출할 수 있다. 즉 $\frac{de}{dt}$ 값이 양(+)이 되는 점을 검출함으로써 회전자와 고정자가 겹치기 시작하는 부분을 검출할 수 있는 것이다.

제어기에 입력되는 역기전력은 잡음제거를 위해서 이동평균(Moving average)을 취하는 방법으로 필터링 된다.

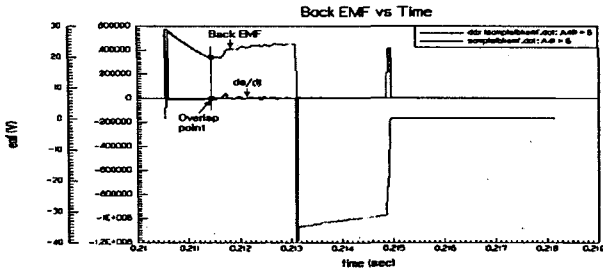


그림 4 역기전력과 미분파형
Fig. 4 Back EMF and differential waveform

5. 실험결과 및 고찰

모터는 단상이므로 정지용 자석을 이용하여 항상 구동이 가능한 일정한 위치에 정지해 있으므로 곧바로 기동이 가능하다.

그림 5는 엔코더와 역기전력을 사용하여 정상상태에서의 역기전력, 정확한 위치 검출을 위해 증폭된 역기전력, overlap point 검출파형 신호 및 상전류 파형을 보여주고 있다. 엔코더로 구동했을 경우와 역기전력으로 구동했을 경우를 비교해보면 거의 같은 파형을 나타내고 있음을 알 수 있고, 엔코더를 사용하지 않고 역기전력을 이용하여 구동하더라도 정상적으로 운전이 가능하다는 것을 보여준다.

6. 결론

본 논문에서는 역기전력을 이용하여 단상 SRM의 회전자 위치 추정 방법을 제안하였다.

실험에 앞서 전자기해석 프로그램인 Maxwell 2D™로 시뮬레이션을 수행하여 실험에 사용된 단상 SRM에서의 역기전력 파형을 분석하여 회전자 위치의 추정이 가능함을 확인하였다. 역기전력을 이용하여 회전자 위치를 추정하기 위해서 회전자의 위치에 따른 역기전력의 변화를 이용하여 위치정보를 얻어내는 방법을 사용하였다. 역기전력을 미분하여 회전자와 고정자의

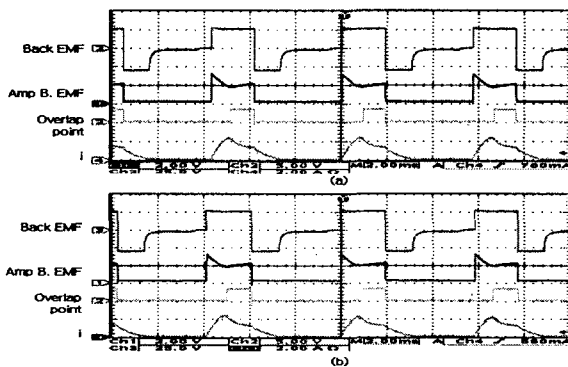


그림 5 정상상태 : 역기전력, 증폭된 역기전력 파형, Overlap point 검출신호, 상전류 파형
(a) 엔코더를 이용한 구동
(b) 역기전력을 이용한 구동

Fig. 5 Steady state : Back EMF, amplified Back EMF, Overlap point detection signal and winding current
(a) Using Encoder
(b) Using Back EMF

overlap point를 검출하여 회전자 위치를 추정하는 방법을 제안하였고, 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 방법을 입증하였다.

이렇게 역기전력을 이용한 구동 방법은 기존 위치 검출 센서를 사용했을 때 나타나는 비용의 문제뿐만 아니라 내충격의 문제, 속도 제약의 문제, 사용 환경의 문제, 모터의 부피증가 문제 등을 해결함으로써 강인한 특성의 구동장치를 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안한 방법은 진동, 고온, 고압 등으로 인해 기존의 위치 센서가 사용되기 어려운 특수한 환경에서 각광 받을 것으로 기대되며, SRM의 소형화와 저가화를 실현함으로써 상품화에 크게 기여할 것으로 보인다.

이 논문은 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템엔지니어링 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어 2001. 1
- [2] W. F. Ray and I. H. Al-Bahadly, "Sensorless method for determining the rotor position of switched reluctance motors", Fifth European Conf. on Power Electr. and Appl., Vol. 6, pp. 7-13, Sep, 1993
- [3] B. Fahimi, G. Suresh and M. Ehsani, "Review of sensorless control methods in switched reluctance motor drives", Conf. Rec. of the 2000 IEEE Ind. Appl. Conf., Vol. 3, pp. 1850-1857, Oct. 2000
- [4] 양형열, 김종건, 임영철, "서치코일을 이용한 토로이달 스위치 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출", 전력전자학회 논문지, 제 7권, 제 6호, pp.537-545. 2002.
- [5] 신덕식, 양형열, 임영철, "서치코일을 이용한 단상 SRM의 구동", 전력전자학회논문지, 제 10권, 제 5호, pp.488-493. 2005.