

직류링크 전류정보를 기반으로 한 SRM 3상전류 추정법

김주진, 김성곤, 김태웅, 안진우*, 최재호**
 경상대학교, *경성대학교, **충북대학교

3-Phase Current Estimation of SRM Based on the DC-Link Current

Ju-Jin Kim, Seong-Gon Kim, Tae-Woong Kim, Jin-Woo Ahn*, Jae-Ho Choi**
 GyeongSang National University, *KyungSung University, **ChungBuk National University

ABSTRACT

This paper proposes the SRM drive system based on DC-link current, from which the phase currents can be estimated in accuracy and also they can be used in driving SRM instead of the three-phase currents. In additional, the detecting circuit for DC-link current is also proposed for increasing the resolution and decreasing the off-set. Comparing to the general drive system based on the phase current, it is verified through the experiment that the proposed SRM drive system has the good performance in steady-state responses of the speed control. Using the DC-link current, all of the 3-phase currents can be easily estimated in driving the SRM.

1. 서론

각 상의 순차적인 스위칭패턴에 따라 필요한 토크를 발생시켜 SRM(Switched Reluctance Motor)을 적절하게 제어할 수 있는데 이를 위해서는 위치 및 속도정보, 그리고 각 상의 전류정보가 필요하게 된다.^[1] 여기에 있어서 SRM 고정자에 대한 상의 수가 증가할수록 각 상에 대한 전류정보를 검출하기 위해서는 전류센서의 수도 증가시킬 필요가 있다. 따라서 전류센서의 수가 증가함에 따라 전체적인 제어시스템 가격이 높아지기 때문에 전류센서레스화 혹은 전류센서의 수를 최소화 할 필요가 있다.^[2]

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 각 상의 모든 전류정보를 검출하지 않고 직류링크 회로에 설치한 전류센서를 통해 검출된 직류링크 전류정보를 기반으로 하여 각 상의 전류를 추정할 수 있도록 하여 각 상의 전류정보를 이용한 것과 같이 동등한 전류제어성능을 발휘할 수 있는 새로

운 알고리즘을 제안한다.^[2] 본 논문에서 제안한 직류링크 전류정보를 기반으로 한 SRM의 3상전류 추정 알고리즘의 유효성을 dSPACE 제어시스템의 실험을 통해 검증한다.

2. SRM의 전압·전류 및 토크 방정식

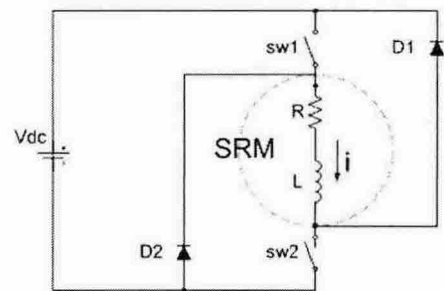


그림 1 SRM의 상당 등가회로(비대칭 브릿지 컨버터)

그림 1은 SRM의 자기회로를 여자시킬 때에 1상에 대한 등가회로를 보여주며 이에 대한 전압·전류 방정식은 식(1)과 같이 된다.^[1]

$$\begin{aligned} V_{dc} &= Ri + \frac{d\lambda}{dt} = Ri + \frac{dL(\theta)i}{dt} \\ &= Ri + L(\theta)\frac{di}{dt} + i\frac{dL(\theta)}{d\theta}\omega \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 V_{dc} : 직류링크전압, λ : 쇄교자속, R : 권선저항, $L(\theta)$: 자기인덕턴스, i : 상전류

식(2)와 같은 co-energy W_c 의 개념을 도입한 후, 회전자 위치에 대한 W_c 의 편미분을 통하여 식(3)과 같은 SRM의 토크방정식을 구할 수 있다.

$$W_c(\theta, i) = \int_0^i L(\theta, i)idi = \frac{1}{2} L(\theta, i) \cdot i^2 \quad (2)$$

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

여기서 SRM 발생토크는 전류제곱에 비례하고 위치에 대한 인덕턴스의 기울기에 따라 토크의 부호가 달라지기 때문에 회전방향에 대하여 역방향 토크인 負토크가 발생하는 회전자의 위치가 존재한다.

3. SRM 3상전류의 추정알고리즘 및 직류링크 전류검출회로의 제안

“SRM 구동에 있어서 임의의 한 상(여기서는 a 상으로 설정)에 전류가 흐를 수 있도록 스위칭동작을 하는 동안에 다른 상에 대해서는 전류가 전혀 흐르지 않는다.” 라고 가정한다면, 스위치가 턴온시에는 직류링크회로에 흐르는 직류전류 i_{dc} 는 그림 2(a)에 보여주듯이 a상 전류와 동일한 방향으로 흐르게 되어 다음과 같은 관계식을 만족하게 된다.

$$i_{dc} = i_a \quad (4)$$

또한 스위치가 턴오프시에는 직류링크회로에 흐르는 직류전류 i_{dc} 는 a상전류와 반대방향으로 흐르게 되지만 제안한 직류전류검출회로를 이용하면 그림 2(b)에 보여주듯이 식(4)와 같이 동일하게 얻어지게 된다. 따라서 식(4)에서 보여주듯이 스위치의 턴온 및 턴오프 상태와 무관하게 항상 직류링크회로의 전류를 통하여 a상의 전류를 추정하기 위해서는 다음과 같은 식을 이용하면 된다.

$$\hat{i}_a = i_{dc} \quad (5)$$

여기서 \hat{i}_a 는 a상 추정전류

위의 관계는 a상 추정전류 이외의 다른 상에 대한 추정전류에 대해서도 동일하게 적용될 수 있으며, 회전자의 위치정보와 함께 직류링크 전류정보로부터 a상, b상, c상에 대한 추정전류는 식(6)~(8)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\hat{i}_a = F(\dot{\theta}, \theta_a) \quad (6)$$

$$\hat{i}_b = F(i_{dc}, \theta_b) \quad (7)$$

$$\hat{i}_c = F(i_{dc}, \theta_c) \quad (8)$$

여기서 $F()$ 는 상전류 추정함수, \hat{i}_b , \hat{i}_c 는 각각 b상, c상에 대한 추정전류이고, θ_a , θ_b , θ_c 는 각각 a상, b상, c상의 전류를 추정하기 위한 회전자의 위치영역을 나타낸다.

따라서 3상 SRM에 대한 각 상전류의 추정은 SRM 회전자의 위치와 직류링크 전류정보로부터

손쉽게 계산할 수 있다.

본 논문에서는 그림 2에서 보여주듯이 직류링크 회로에 정류다이오드를 이용한 직류전류검출회로를 제안한다. 본 검출회로는 직류전류가 한쪽 방향으로만 흐르도록 하였고 오프셋에 의한 불균형 문제점을 해결할 수 있으며 또한 A/D컨버터의 분해능을 2배정도 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

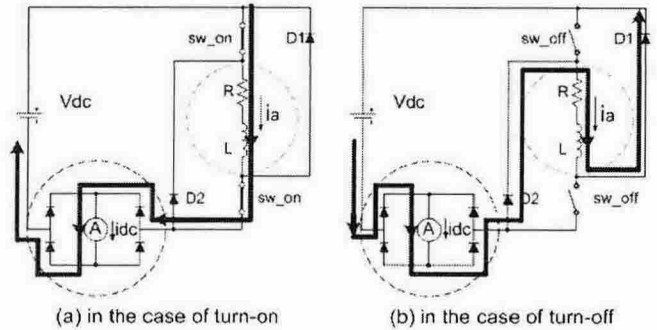


그림 2 스위치상태에 따른 상전류와 직류링크전류와의 관계; (a) 스위치 턴온상태, (b) 스위치 턴오프상태

4. 시스템 구성

4.1 실험 시스템 구성

본 논문에서는 dSPACE를 이용하여 속도제어시스템을 구성하였고 이를 이용한 SRM의 전체적인 속도제어시스템은 그림 3과 같다. 그리고 스위치의 온·오프 제어에는 advance angle과 dwell angle을 조정하는 동적인 도통각 제어방법을 사용하였으며, 구동회로로는 SRM 구동에 많이 쓰이는 비대칭 브릿지 컨버터를 제작하여 SRM을 구동하였고 부하로는 유도전동기를 이용하였다. 그림 4는 제작한 실험장치를 보여주며 SRM 구동을 위해 필요한 위치정보는 유도전동기에 부착된 엔코더로부터 얻어 사용하였다.

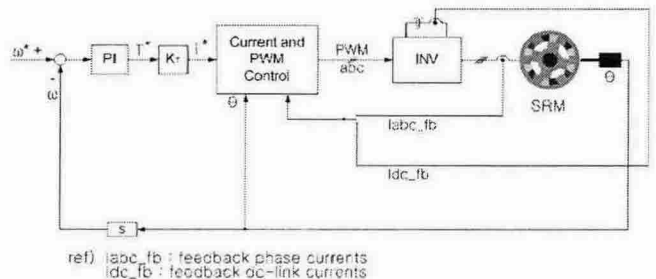


그림 3 SRM의 전제적인 속도제어시스템 블록도

4.3 실험 결과 및 검토

지령속도를 0rpm에서 50rpm으로 스텝인가하였을 때에 대한 응답속도 파형을 그림 5에 보여준다.

그림 6과 7은 50rpm의 지령속도로 정상상태로

운전하였을 때의 속도, 3상전류 및 직류링크전류에 대한 파형을 보여준다. 여기서 그림 6의 경우는 3상 전류정보를 귀환하여 제어하였을 때의 실험파형이고 그림 7의 경우는 본 논문에서 제안한 3상전류 추정알고리즘을 적용하였을 때의 실험파형이다. 그림 5~7의 실험결과를 통해 제안한 3상전류 추정법이 기존의 3상 전류정보를 이용한 것과 거의 동일한 속도응답특성(동적 및 정상상태 응답)을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 높은 전압을 공급할 수 있는 직류전원장치의 부재로 인해 현재 가지고 있는 낮은 직류전원장치(25V)로 실험하였고 추후에 정격전압을 인가할 수 있는 직류전원장치를 구입하여 실험을 추가적으로 수행할 예정이다.

표 1 SRM 및 실험장치 사양

정격출력	80 W
정격전압	220 V
정격속도	850rpm
고정자/회전자 극수	12 (3상) / 8
엔코더 분해능	3600
직류전원전압	25V

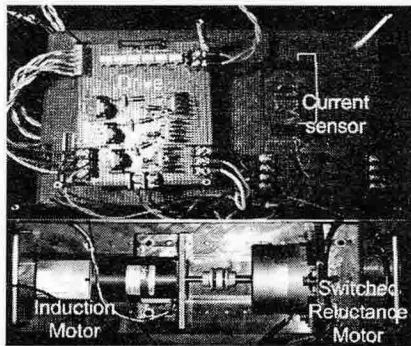
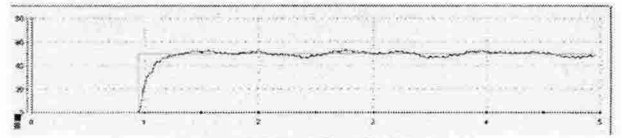


그림 4 실험 장치

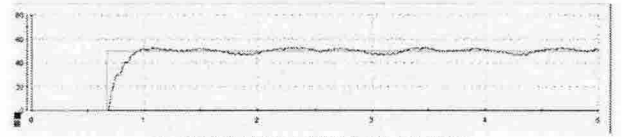
5. 결론

본 논문에서는 SRM 고정자에 대한 상의 수에 관계없이 직류링크 전류센서를 이용하여 3상의 전류정보를 추정할 수 있는 새로운 전류추정법과 직류전류검출회로를 제안하였고 추정된 각 상의 전류정보를 기반으로 하여 SRM에 대한 속도제어시스템을 실험을 통해 구현하였다. 실험을 통하여, 기존의 각 상 전류정보를 기반으로 한 SRM 속도제어의 결과와 비교함으로써 본 논문에서 제안한 직류링크 전류정보를 기반으로 3상 전류추정 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

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

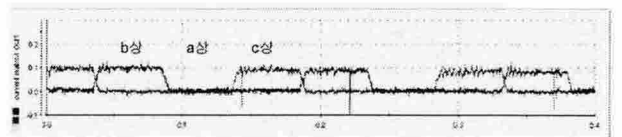


(a) 3상 전류정보를 이용한 경우

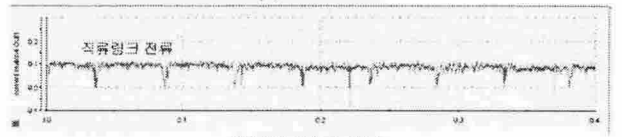


(b) 직류링크 전류정보를 이용한 경우

그림 5 지령속도(50rpm) 스텝인가시의 응답속도 파형



(a) 3상 전류

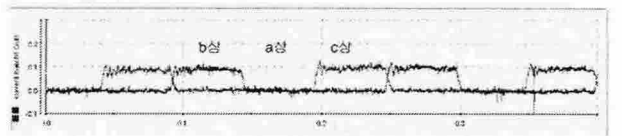


(b) 직류링크 전류

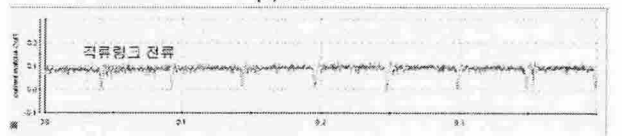


(c) 지령속도와 응답속도

그림 6 정상상태(50rpm)에서의 3상전류, 직류링크 전류, 속도파형 (3상 전류정보를 이용한 경우)



(a) 3상 전류



(b) 직류링크 전류



(c) 지령속도와 응답속도

그림 7 정상상태(50rpm)에서의 3상전류, 직류링크 전류, 속도파형 (직류링크 전류정보를 이용한 경우)

참고 문헌

- [1] 안진우, "스위치 릴럭턴스 전동기," 오성미디어
- [2] 김주진, 김성곤, 이주환, 김태웅, "DC-link 전류정보를 기반으로 한 새로운 SRM 구동시스템," 전력전자학술대회, pp.6-9, 2004년7월