

스위치드 리렉턴스 전동기의 센서리스 속도제어

신규재*, 남정한**, 권영안**

*순천공업전문대학, **부산대학교 전기공학과

Sensorless Speed Control of Switched Reluctance Motor

K.J.Shin*, J.H.Nam** and Y.A.Kwon**

*Suncheon Engineering Junior College, **Pusan National University

Abstract - This paper investigates the position sensorless control of switched reluctance motor. The system consists of the position detection circuit by the new phase detection algorithm, digital logic commutator, PLL for speed control and 4-phase inverter. The performances in the proposed system are verified through the experiment.

1. 서론

스위치드 리렉턴스 전동기는 회전자에 권선이나 영구자석이 없으므로 제작비용이 저렴하고 회전자 관성이 작으며 넓은 범위의 속도에서 고효율 운전이 가능할 뿐만 아니라 구동회로가 간단한 점 등 여러 가지 장점을 가지는 전동기이다[1-4]. 따라서 최근에 스위치드 리렉턴스 전동기의 이론 및 산업용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

스위치드 리렉턴스 전동기의 속도제어를 위해서는 회전자의 위치각에 대한 정보가 필수적이므로 위치각 정보를 검출하기 위한 센서로써 옵토센서 또는 엔코더가 일반적으로 사용되고 있다[5]. 그러나 이러한 위치센서로 인하여 스위치드 리렉턴스 전동기의 가격상승, 위치검출회로 인하여 제어회로가 복잡해지는 문제, 열악한 작업환경에서 센서의 신뢰성 문제와 센서부착을 위한 전동기의 가공문제 등이 발생하게 된다. 따라서 속도 및 위치센서를 사용하지 않고 스위치드 리렉턴스 전동기를 제어할 수 있는 센서리스 속도제어에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 기존 센서리스 방식중에서 상전류 측정방식은 회로구현이 간단하나 인덕턴스 특성이 상전류 변화율에 의해서 유도되기 때문에 고속운전 시 상전류 노이즈 성분에 의하여 정확한 위치검출이 어렵다. 본 논문에서는 상기 문제를 해결하기 위한 인덕턴스 추정방식이 연구된다. 본 방식에 의

해 설계된 스위치드 리렉턴스 전동기 속도제어 시스템은 실험을 통하여 검증한다.

2. 센서리스 SRM 구동시스템

기존의 스위치드 리렉턴스 전동기 센서리스 속도제어방식으로는 상전류 파형 측정에 의한 순시 기전력 검출방식과 인덕턴스 변화량 검출방식, 개루프 제어방식, 자속추정방식, 상태관측기를 적용한 방식, 주파수변조 및 위상변조를 적용한 방식, 상호 유기기전력 측정방식[6]-[10] 등이 있다. 상기한 방식에서 개루프 제어방식 및 상전류 측정에 의한 위치각 추정방식은 간단하고 경제적이다. 개루프 제어방식은 고토오크를 발생하기 위하여 도통각을 크게 할 경우 부토오크가 발생하여 효율이 감소하게 되며 또한 도통각을 줍게 할 경우 효율은 개선되지만 제어의 안정성이 저하된다. 상전류 측정에 의한 순시 기전력 검출방식은 저속에서 제어가 어렵고 인덕턴스 변화량 검출방식은 전류초평 구간에서 발생하는 고조파를 포함한 상전류의 변화율로 인하여 회전자 위치각 정보의 신뢰성이 저하되는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 상기 문제를 해결하기 위한 인덕턴스 추정방식이 연구된다. 본 연구에서 구성한 센서리스 속도제어 시스템은 그림 1과 같다.

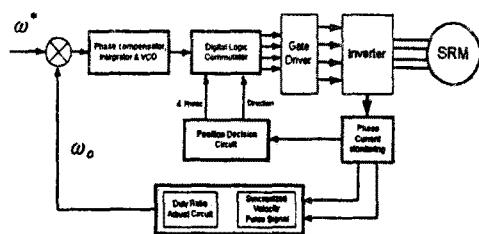


그림 1 센서리스 속도제어 시스템의 블록도

본 스위치드 리터턴스 전동기 센서리스 속도제어 시스템에서는 안정된 속도제어를 구현하기 위하여 위상비교기, 적분기 및 전압제어형 발진기로 구성된 PLL. 상전류검출에 의한 속도검출 회로와 위치각 검출회로, 디지털 정류자 회로와 4상 인버터로 구성된다. 그림2는 본 논문에서 사용되는 4상, 8/6극 스위치드 리터턴스 전동기의 단면 및 a상에 대한 스위칭 회로이다.

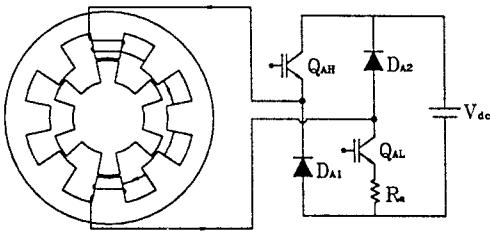


그림 2. SRM의 단면 및 스위칭회로

3. 센서리스 위치검출

일반적으로 스위치드 리터턴스 전동기는 상권선 상호간의 상호자속이 무시되는 구조로 설계되어 상권선 상호간에 결합이 없는 간단한 방정식이 구성된다. 그러나 스위치드 리터턴스 전동기는 에너지 이용율등 여러가지 장점으로 자기포화 영역에서 운전을 하게되어 전압방정식의 파라미터가 회전자의 위치 및 상전류의 함수가 된다. 따라서 비선형 스위치드 리터턴스 전동기에서의 전압방정식 및 발생토오크는 식(1) 및 (2)와 같다.

$$v = Ri + \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt} \quad (1)$$

단. v : 상전압, R : 상저항, i : 상전류,
 λ : 상권선 쇄교자속, θ : 회전자 위치각

$$\begin{aligned} T(i, \theta) &= \frac{\partial W_c}{\partial \theta} \\ &= \frac{d}{d\theta} \int_0^i \lambda(i', \theta) di' \end{aligned} \quad (2)$$

단. T : 발생토오크, W_c : 코에너지

자속-전압방정식은 식(1)로부터 식(3)과 같이 되며 전류변화율은 식(4)와 같이 된다

$$v = Ri + \frac{\partial \lambda}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

$$= Ri + l \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{v - Ri - \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt}}{l} \quad (4)$$

단. I : 인덕턴스

식(4)에서 di/dt 와 I 의 관계식으로 부터 상전류 측정에 의해서 인덕턴스 정보를 구할 수 있다. 상전류측정에 의한 인덕턴스 검출방식을 개선한 알고리즘은 그림 3과 같다. 여기에서는 회전자 위치정보를 정확히 구하고 전류초평시 고조파가 발생하는 문제를 해결하기 위한 위치검출 알고리즘이 구현된다. 그림 2에서 검출저항을 통하여 측정된 상전류 i_a 는 기준전류치 i_{ref} 와 비교되어 고정자와 회전자의 비정렬 구간의 위치정보를 제공하고 또한 대역통과필터에서 미분을 수행함으로써 전류변화율 $di/dt = 0$ 이 되는 구간을 감지하여 최대 인덕턴스에 해당하는 회전자 위치각 정보를 제공한다. 특히 제시된 알고리즘은 전류초평에서 발생하는 스위칭 주파수의 고조파 문제를 대역통과필터의 차단주파수를 적절히 설정함으로써 해결할 수 있다.

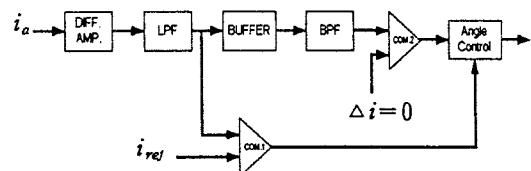


그림 3. 회전자 위치검출 알고리즘

4. 실험결과 및 검토

상기에서 제시한 스위치드 리터턴스 전동기 센서리스 속도제어 시스템을 제작하고 실험을 수행하였다. 그림 4는 상전류와 상전류변화 신호의 실험파형을 나타내고 그림 5는 1000[rpm]에서의 상전압 실험파형을 나타낸다.

5. 결론

스위치드 리터턴스 전동기의 센서리스 속도제어를 실현하기 위한 기존의 상전류 측정에 의한 방식은 상전류에 노이즈 성분이 포함되어 정확한 회전자의 위치검출이 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문

제를 해결하기 위하여 동기화된 상전류와 상전류변화율을 측정하고 대역통과필터를 통하여 회전자 위치각을 검출하는 알고리즘을 구성하였으며 또한 PLL 제어를 이용하여 안정된 속도제어 시스템을 구현하였다. 특히 제시된 알고리즘은 전류초평에서 발생하는 스위칭 주파수의 고조파 문제를 대역통과필터의 차단주파수를 적절히 설정함으로써 해결할 수 있다.

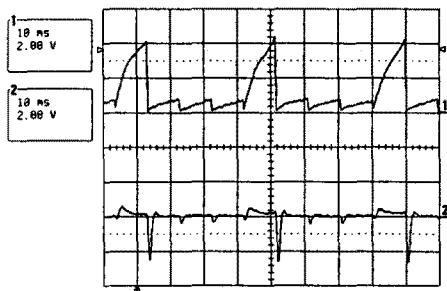


그림 4. 상전류 및 상전류 변화율

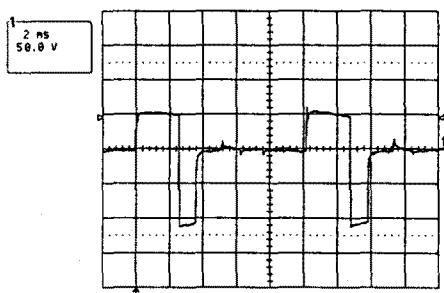


그림 5. 1000[rpm]에서 상전압파형

(참 고 문 헌)

- [1] M.R.Harris and T.J.E. Miller, "Comparison of Design and Performance Parameters in Switched Reluctance and Induction Motors", Int Conf Electric

- Machines and Drives, pp.303~307, 1989.
 [2] H.Moghbelli, G.E.Adams and R.G.Hoft, "Performance of a 10HP Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors", IEEE, IA-27, No3, pp.531~538, 1991.
 [3] Y.A.Kwon and K.Reichert, "Choppingless Operation of a Nonlinear Switched Reluctance Motor", Int Conf on Evolution and Modern Aspects of Synchronous Machines, pp.451~454, 1991.
 [4] Y.A.Kwon, S.H.Kim and J.K.Shin, "Computation of Optimal Excitation of a switched Reluctance Motor Using Variable Voltage", IEEE/IECON, pp.84~89, 1996.
 [5] R. C. Becerra, M. Ehsani and T. J. E. Miller, "Commutation of SR Motors", IEEE, PE-8, no.3, pp.257-262, 1993
 [6] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford Univ. Press, 1993
 [7] P. P. Acarnley, R. J. Hill and C. W. Hooper, "Detection of Rotor Position in Stepping and Switched Motors by Monitoring of Current Waveforms", IEEE, IE-32, no.3, pp.215-222, 1985
 [8] J.T. Bass, M. Ehsani and T.J.E. Miller, "Robust Torque Control of Switched Reluctance Motor Without a Shaft-Position Sensor", IEEE, IE-33, no.3, pp.212-216, 1986.
 [9] A. Lumsdaine and J. H. Lang, "State Observers for Variable-Reluctance Motors", IEEE, IE-37, no2, pp.133-142, 1990
 [10] I. Husain and M. Ehsani, "Rotor Position Sensing in Switched Reluctance Motor Drives by Measuring Mutually Induced Voltages", IEEE, IA-30, pp.665-672, 1994