

여자상의 초기 전류증가율 측정에 의한 Switched Reluctance Motor 의 Sensorless 알고리즘

임 준영^o, Vijay. V. deshpande, 신 두진, 오 재윤, 김 정철*

LG 전자 리빙시스템 연구소

New Sensorless Algorithm for SRM Based on Initial di/dt Measurement of Excited Phase Current

Jun-Young Lim^o, Vijay. V. Deshpande, Doo-Jin Shin, Jae-Yoon Oh, Jung-Chul Kim

LG Electronics Co. Living System Lab.

Abstract

In this paper, a new algorithm for sensorless speed control of switched reluctance motor (SRM) is proposed. It is based on the measurement of initial rate of change of phase current. The initial rate of rise of phase current mainly depends up on the phase inductance at the time instant when the phase is excited. Therefore, the measurement of initial di/dt permits rotor position estimation, which is used to trigger the next phase.

In the proposed technique, there is no need to generate additional current pulses when a phase is not excited. Therefore, this scheme does not introduce the unwanted braking torque. Also, only one current measurement is made every time a phase is excited. This reduces the computational load on the micro-controller and enhances the speed range of the sensorless drive. By using this scheme it is possible to implement the sensorless control of SRM using low cost micro-controller.

1. 서 론

SRM은 성능과 가격면에서 여러 가지 장점을 가지고 있는 반면 회전자 위치를 검출하여 상여자에 반영해야 하는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 축에는 Sensor용 Slit-disk를 만들고 Photo Interrupt 등의 빛에 의해 감지되는 Sensor를 이용하여 위치를 검출하나 이러한 센서는 먼지나 기름에 의한 신뢰성 문제 온도 상승에 의한 내구성의 저하와 같은 문제를 발생시킨다.

SRM은 모터내부에 영구자석이 없기 때문에 Sensorless 알고리즘 실현을 위하여 능동적으로 회전자의 변화에 대한 전압을 형성하지 않으므로 비여자 된 상에 짧은 시간 동안 센싱펄스를 가하는 방법[1]과 Frequency Modulation 방법[2]등을 이용하여 회전자의 위치를 검출하고 있다.

본 논문에서는 회전자에 기계적센서를 부착하지 않고 운전하기 위한 새로운 방법으로서 Excited Phase에 흐르는 상여자 초기 di/dt를 측정하여 다음 여자상의 Timing을 결정하여 준다. 초기전류를 측정함으로써 자속포화에 대한 고려가 필요 없어 비선형요소를 제거하여 회전자의 위치를 판정할

수 있도록 하였다.

본 알고리즘은 기존의 비여자된상(Unexcited Phase)에 센싱펄스를 가하여 회전자의 위치를 알아내는 방법[1]에서 반드시 생기게 되는 브레이킹토크를 발생시키지 않고 Demagnetizing에 의한 비여자 시간의 구간이 짧아짐에 의한 속도의 한계를 극복하며, 한번의 여자에 한번의 전류 검출을 함으로서 프로세서에서 할당하는 시간이 적어 고속 회전에 용이한 방법이다. 또한 전류의 측정값이 비교적 큰 값을 가지고 처리함으로써 전자기적 잡음(Electromagnetic Noise)에 상당히 강한 장점과 값비싼 전류센서를 선택할 필요가 없는 장점을 가지고 있다.

2. Sensorless SRM 구성

그림 1은 8/6 4상 SRM의 인덕턴스 Profile과 Turn-on 각에 따른 전류의 증가를 나타낸 것이다.

권선에 흐르는 전류의 증가율은 정해진 모터에서 Advance Angle에 따라 그 기울기가 달라지는데 이 기울기는 상의 여자가 각도에 맞게 여자되고 있는지를 알수있는 정보가 될수있다.

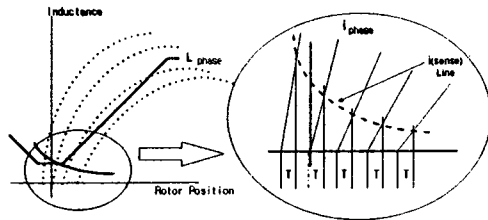


그림 1 상 인덕턴스와 초기전류 증가

본 논문에서는 상여자 초기전류의 증가를 A/D converter를 통하여 그림 1과 같이 일정한시간(T)뒤에 읽고 현재의 Gate Signal 간격을 포함한 이전 4개의 값을 평균하여 현재의 속도를 결정한다. 이것은 모터에서 필요로 하는 가속 및 감속의 한계를 결정하는 요소와 속도정보의 오차를 최소화 되도록 결정한다. 이 속도정보와 A/D 값에 의해 다음상

의 여자 Timing 을 결정하는 것이 중요한 알고리즘이다.

특히 상여자 초기전류를 이용하여 일반적으로 SRM 에서 발생하는 높은전류에서의 자기포화에 대한 영향을 배제하도록 한다.

SRM 의 전압방정식은 다음과 같이 나타낸다.

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

여기에서 전류에 의한 자기포화 영향을 배제하면, (1)의 전압방정식을 다음과 같이 간략화 할수있다.

$$i_{sense} = \frac{V - Ri - \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega_m i}{L(\theta)} T \quad (2)$$

ω_m 은 모터의 회전속도 (rad / sec),

T는 상여자후 전류검출까지의 시간 (150 μ sec)

그림 2는 본 연구에서 사용한 모터의 인덕턴스의 실제값측정과 모터의 속도에 대한 적정 Advance Angle 을 보이고 있다. 또한 전류의 증가를 회전자의 위치에 따라 구하기 위해 $dL/d\theta$ 를 근사화한 모델을 함께 나타내었다.

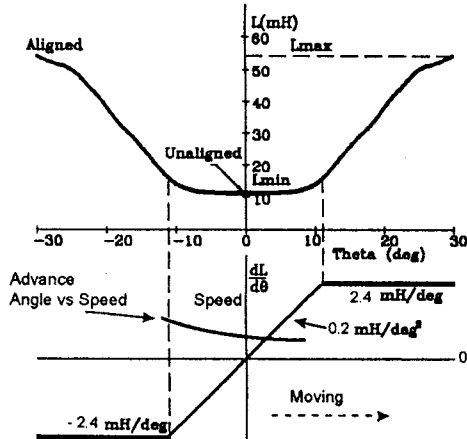


그림 2 Phase Inductance & Approximated Inductance Variation.

여기에서 0에서 12도까지는 0.2mH의 인덕턴스 증가율을 갖고, 12도 이상에서는 2.4mH의 일정한 값을 갖는다. Align 위치가 되는 30도 근처의 값은 본 알고리즘에서 중요한 의미를 갖지 못한다.

DC Link 단의 전압변화는 상에 흐르는 전류의 기울기 자체를 변화 시키므로 식(2)를 이용하기 위해서 그림 3과 같이 순시치값의 DC Link 전압을 마이콤에서 측정하여 DC 전압을 A/D를 통하여 읽어내면 식(2)에서 Operating Speed에서의 Advance Angle에 맞추어 동작시킬수 있다. 따라서 속도에 따른 Advance Angle은 이미 그림 2에 점선과 같이 ROM Table에 입력되어 있으므로 본 알고리즘을 통하여 원하는 Advance Angle을 실현시킬수 있다.

다음상의 여자 Timing 을 결정하는 방법으로 이전 4개의 상신호 간격의 평균과 현재 측정된 전류값을 이용하여 다음의 식을 만들수 있다.

$$T = (T(k-1) + T(k-2) + T(k-3) + T(k-4)) / 4 + (i_{ref} - i_{sense}) * h \quad (3)$$

여기에서 i_{ref} 는 속도에 대한 T시간 이후의 기준 전류값, i_{sense} 는 현재 측정된 전류치, h는 비례제이득이다.

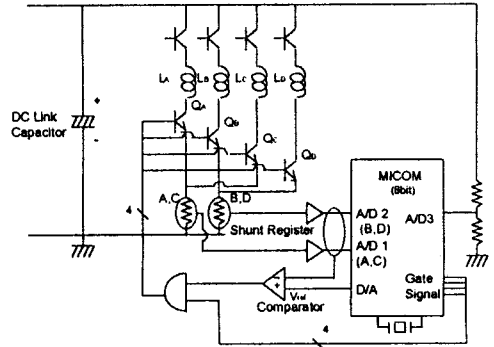


그림 3 센서제어기 하드웨어 구성

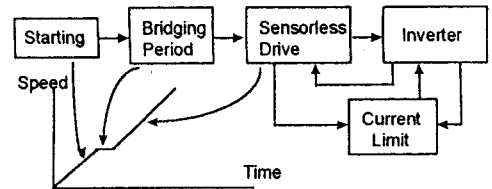


그림 4 알고리즘구성 및 속도증가 Profile

3. 하드웨어구성

본 연구에서 하드웨어 구성은 그림 3과 같이 4상의 Asymmetric Bridge Converter를 사용하였으며 M37451 8bit Micom을 사용하였다. 스위칭소자를 따라 흐르는 전류는 A와 C, B와 D상이 Overlap되는 일이 없으므로 하나의 전류센서가 두개의 상전류 검출을 담당하도록 하였으며 Micom의 지령에 따라 상여자가 되므로 전류검출저항을 통과하는 전류는 상의 인지(Identification)가 가능하다. Overlap이 없는 상여자를 실시한다면 하나의 전류센서로도 가능한 일이나 이런 경우 토크리플 및 출력밀도가 적어 이점이 별로 없다. 그림 3의 D/A port는 비교기의 기준치로서 사용하며 이 비교기는 전류제어를 실행하여 토크를 제어하도록 한다. 상의 전류가 기준보다 높을때 off되며, 다시 on될때까지 20[μ sec]의 fixed off time의 방법을 취하였다. SRM의 인덕턴스는 다른 모터에 비하여 크므로 Hysteresis Band를 만들지 않는 이러한 방법에 의한 전류 Regulation으로도 충분한 효과를 얻을수 있었다. 또한 파워소자로서는 On 저항손실을 줄이기 위해 IGBT가 사용되었다.

4. 실험 결과

초기 기동을 위한 Starting Algorithm 은 Open Loop 에 의한 강제기동으로 슬립이 없는 최대한의 속도까지 올려야한다. Starting Algorithm 의 마지막부분에서 4 개의 상여자초기의 전류와 시간의 평균을 마이크로에서 읽고 본 논문에서 제시한 센서리스 알고리즘으로 연결하여 주도록 하였다. 여기에서 Bridging Speed 를 300rpm 으로 하였다.

그림 5 는 스위칭소자에 흐르는 전류로서, 초기 기동시 Open-Loop 에 의한 가속을 보이고 있다. 비교기에서 전류제한이 심하게 이루어 지고 있음을 보이고 있으며 실제로 전류제한이 되는 부분에서 상에 흐르는 전류는 6A 로서 일정하다. 정지상태에서 300[rpm]까지 1.5[sec]동안 가속시켜 Sensorless Algorithm 과 연결시켜준다.

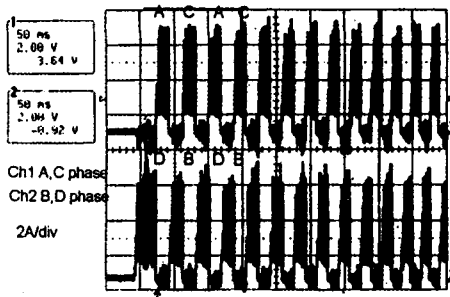


그림 5 기동시 스위칭소자에 흐르는 전류파형

그림 6 에서 회전자의 위치를 알기 위한 초기전류 증가검출구간(T)는 150 [μ sec]로 결정하였으며, 이 시간의 결정은 모터의 동작속도와 Flux density, 전류 Limit 가 일어나기 이전의 조건이 되도록 한다. 본실험에서는 그림 3 의 A/D3 의 DC Link 전압은 일정하다고 가정하고 측정에서 제외 하였다. 그림 5 는 상전류 측정후 Advance Angle 변화에 따라 일어나는 측정 전류의 변화를 D/A port 를 이용하여 확인해본 것이며, 새로운 전류를 입력받고 이전의 저장해 놓은 위치의 정보를 새로 결정하고 있음을 나타내고 있다. 또한 측정 전류 범위가 1A 이상의 값을 보임으로서 기존의 제동에 의한 영향을 줄이기 위해 작은 전류로 측정해야 하는 방법에 비해 전기적인 잡음에 대한 신호의 비가 상당히 개선됨을 알 수 있다.

여기에 사용된 모터의 규격은

4 상 (8/6 구조)

$L_{min} = 11mH$ $L_{max} = 54mH$

외경 = 100mm DC Link Voltage = 60 V

권선저항 = 2.3 Ω / Phase (25 °C)

특히 Bridging 구간의 안정성 문제로 충분한 속도까지 증가시키지 못하고 있으며 이것은 식(3)의 gain 선정 및 제어방법에 대한 연구가 다음의 해결과제로 나타나고 있다.

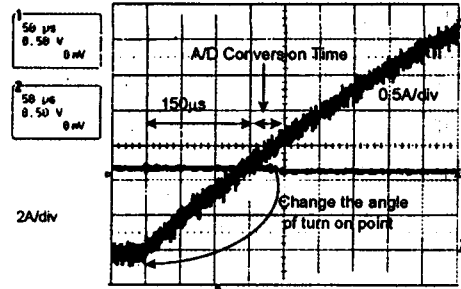


그림 6 상전류증가와 회전자위치검출

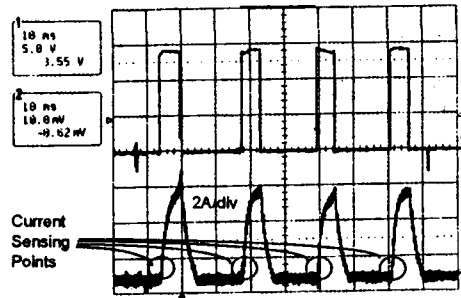


그림 7 Gate Signal 과 상전류 (500 rpm)

5. 결론

본 논문에서는 새로운 Sensorless SRM 구동을 위한 알고리즘을 제시하였다. 기존의 방법에 비해 브레이킹토크를 발생시키지 않으며 3상 또는 4상의 상의 수에 제한 받지 않고 연산량이 적어 고속에 유리한 장점을 가지고 있다.

향후 Bridging 속도에서 일어나는 문제에 대한 연구와 특히 외란에 의한 영향에 대한 변화 및 가감속구간에서 응답속도를 빠르게 하는 연구가 따라야 할 것이다.

참고문헌

- [1]. Stephen R. MacMinn and William J. Rzesos, "Application of Sensor Integration Techniques to Switched reluctance Motor Drives." In IEEE Trans. On industry Applications., vol.28, No6,Nov.1992.
- [2]. Ehsani and I. Husain, "Elimination of Discrete Position Sensor and Current Sensor in Switched Reluctance Motor Drives.,"in IEEE Trans. Industrial Applications. Vol.28, No.1, Jan/Feb.,1990.