

노이즈 성분을 고려한 SRM 센서리스 알고리즘의 강인성

김갑동*, 최재동[†], 김진영[‡], 안재황*, 성세진[†]

* 충남대학교 전기공학과, [†] 한국항공우주연구소

Robustness of a Sensorless Algorithm for Switched Reluctance Motor Considering Noise

K. D. Kim*, J. D. Choi**, J. Y. Kim*, J. H. Ahn*, S. J. Seong*

*Chungnam National University, **KARI

ABSTRACT

The sensorless scheme for Switched Reluctance Motor(SRM) drives must have the robustness and reliability because the noise and error are sensitive. These elements make electrically noisy environments due to the proximity of high current power circuits with small signal electronic circuits when SRM drives. Also, the leakage inductances and finite coupling capacitances, these can cause the noise on any low voltage current and voltage measurement. The error can occur because the current and voltage including the noise are used as the inputs of sensorless algorithm.

In this paper the high robustness and resistance of input noise are described and the fuzzy logic based rotor estimation algorithm is used to reduce the tolerance of input data.

1. 서론

SRM은 회전자 구조가 간단하여 제조과정이 쉽고 관성이 매우 작으며 고정자 권선이 간단하여 대부분의 발열이 고정자 권선에서 나타나므로 냉각이 빠르고 용이하며, 회전자에 영구자석이 없으므로 영구자석형 모터에 비하여 온도 상승에 따른 문제가 없고, 토크가 상 전류의 극성에 무관하므로 구동회로에서 스위칭 소자의 개수를 줄일 수 있다. 그러나 SRM은 일정한 회전구간 마다 연속적인 펄스 여자 전원의 인가를 필요로 하기 때문에 회전자 위치 검출은 상 여자 펄스를 동기화 하기 위해 필수적이다. 회전자 위치 검출을 위해 홀 센서 혹은 슬롯화된 디스크를 갖는 광 인터럽터 등의 기계장치를 사용하는데 이 장치들은 정밀도가 낮다. 더욱

복잡한 구동회로에서 회전자 위치를 유도하기 위해 레졸브나 엔코더를 사용하게 되는데 이로 인한 공간적 제약과 추가 비용 상승이라는 문제점이 있게 된다. 이를 해결하기 위해 비간접 검출 기술 또는 센서리스 기술이 제시되었다. 비간접 검출 방식은 상승 인덕턴스 영역의 적절한 위치에서 고정자 권선을 여자 시키기 위해 인덕턴스 프로파일로부터 회전자 위치를 측정하는 것으로 인덕턴스 변화를 이용하는 방법이다. 인덕턴스 측정은 오프라인 또는 온라인으로 수행되는데 인덕턴스 오프라인 측정값은 설계, 분석, 실행예측과 록업테이블 적용에 근거해서 회전자 위치 검출을 한다. 센서리스 기술로서 인덕턴스를 측정하는 방식으로는 본 논문에서는 자속-전류 검출[쇄교자속] 방식을 사용한다.

한편, 모터는 주로 전기적인 노이즈 환경에서 구동되기 때문에 실제 측정시스템에서 오차와 부정확성이 수반된다. 이 영향에 의해 센서리스 회전자 위치 추정치의 신뢰성이 낮아지면 기계적 센서를 대체할 수 있는 효과를 얻을 수가 없을 것이다. 따라서 모터 구동의 비정상적인 동작 하에서 센서리스 회전자 위치 추정 알고리즘은 오차와 노이즈 신호에 대해 대처할 수 있어야만 한다.

본 논문에서는 오차와 노이즈에 대한 강인성과 신뢰성을 갖기 위해 퍼지 논리 기반 위치 추정 알고리즘을 이용한다. 퍼지 논리 기반 구조를 이용함으로써 입력 데이터 변화나 오차에 의한 영향을 크게 받지 않으며 퍼지 셋 이론을 사용한 계산방식은 크리슈 방식보다 입력 측정값들의 노이즈와 오차들에 더욱 내구적이다.

2. 퍼지 논리 기반 위치 추정 평가

SRM의 구동에 있어서 인버터에 의해 발생하는 전자기적 노이즈는 높은 크기의 임펄스이다. 이 노이즈는 인버터 회로에 대전류들의 스위칭 혹은 통전에 의해 발생되며 이렇게 발생된 노이즈는 인버터 회로의 전력 소자의 스위칭 동안 높은 크기를

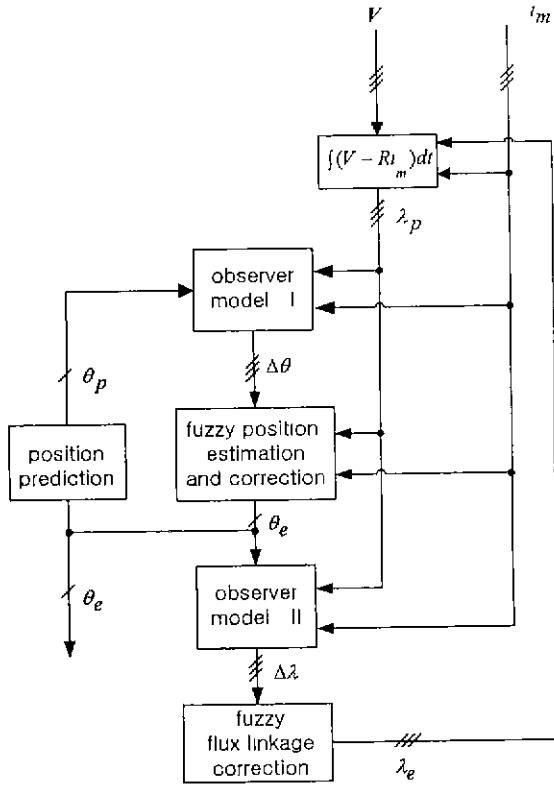


그림 1. 퍼지 논리 기반 각 추정 알고리즘의 흐름도

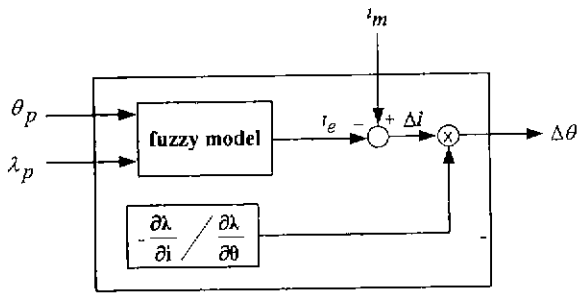


그림 2. 관측기 모델 I의 블록 다이어그램

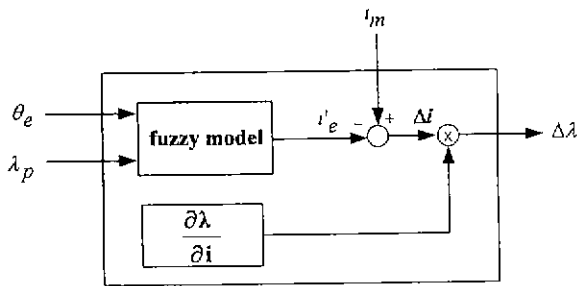


그림 3. 관측기 모델 II의 블록 다이어그램

갖는다. 따라서 전압 또는 전류의 빠른 변화를 일으킨다. 이러한 노이즈와 전류, 전압 측정 회로에 의한 임펄스 형태의 노이즈는 Non-Gaussian 노이즈이다. 본 논문은 센서리스 위치 추정의 실제 동작에 대한 Non-Gaussian 노이즈의 영향을 보다

낮추기 위해 개발되었다.

그림 1은 퍼지 논리 기반 각 추정 알고리즘을 그리고 그림 2와 3은 각각 관측기 모델 I, II을 보여 주고 있다. SRM의 구동시 높은 크기의 과도 노이즈가 검출되었고 각 추정 알고리즘의 동작에 의해 제거되었다. 퍼지 논리 기반 알고리즘은 쇄교자속의 이전 추정된 값으로부터 퍼지논리 기반 물음 만드는 것을 기본으로 하고 있다. 이로 인해 스위칭 노이즈와 같은 전원으로부터의 높은 오차 펄스가 제거되고 모터구동에 있어 더욱 강인한 동작을 보인다.

3. 위치 추정에 영향을 주는 요소에 대한 신뢰성 및 강인성

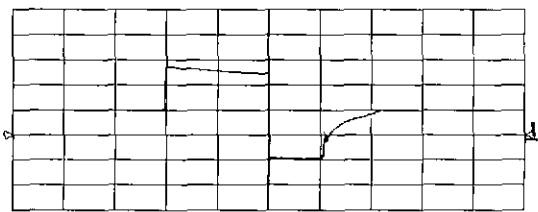
모터 구동을 위해서는 모터 전류와 전압은 진보된 전력전자 스위칭 소자의 고주파에 의해 스위치되어진다. 또한 누설 인덕턴스와 커패시턴스에 의해 저전압 전류와 전압 측정 회로에 노이즈를 불러일으킬 수 있다. 이 노이즈는 센서리스 알고리즘을 위한 입력들인 전류들($i_{1,2,3}$)과 전압들($v_{1,2,3}$)에 측정하는데 오차를 가져올 수 있다. 이들 오차는 적분에 의해 구해지는 쇄교자속의 오차를 일으킨다. 결국 전류와 쇄교자속으로 구해지는 회전자 위치($\theta_{1,2,3}$)에 영향을 줄 것이다. 위치 추정 알고리즘에 발생하는 쇄교자속 오차는 쇄교자속 적분에서의 오프셋 오차, 센서오차, 파라미터 변화를 계산함으로 발생할 수 있다. 또한 쇄교자속 계산을 위해 사용된 사다리꼴 적분 알고리즘의 샘플링 주파수에 의한 영향을 받는다. 연속적인 이차 미분계수를 갖는 일반함수 $x(t)$ 에 대해 사다리꼴 적분오차(ϵ)는 식(1)과 같이 경계되어진다.

$$\frac{(t(n) - t(m))P^2}{12} M_2^* \leq \epsilon \leq \frac{(t(n) - t(m))P^2}{12} M_2 \quad (1)$$

여기에서 $t(n) - t(m)$ 은 적분주기, P 는 샘플링 주기, M_2^* 는 $x(k)$ 의 미분계수의 최소값이고 M_2 는 $x(k)$ 의 최대값이다.

식(1)에서 보는 것과 같이 적분오차는 샘플링 주기 P 의 제곱에 비례하므로 샘플링 주기 P 에 의해서 오차가 발생됨을 알 수 있다. 따라서 쇄교자속 적분 계산에 대해 내구성이 있어야 한다.

회전자 위치 추정 알고리즘은 위에 언급된 영향들에 대해 강인성을 보여야 한다. Huber는 강인한 알고리즘에

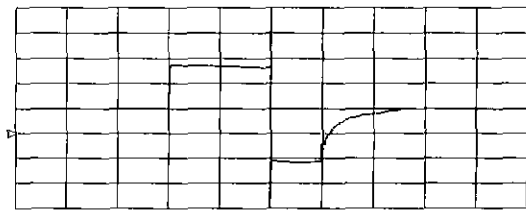


(a) 노이즈가 없는 경우

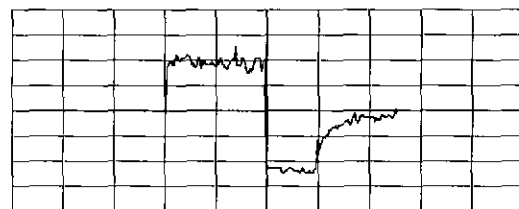


(b) 10% 노이즈 인가했을 경우

그림 4. SRM의 상전압 [20V/Div, 2ms/Div]

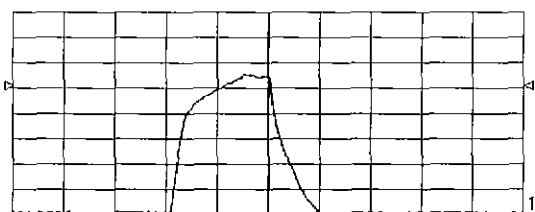


(a) 노이즈가 없는 경우

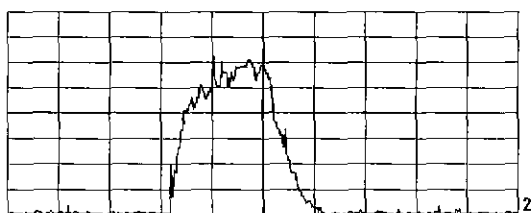


(b) 20% 노이즈 인가했을 경우

그림 7. SRM의 상전압 [20V/Div, 2ms/Div]

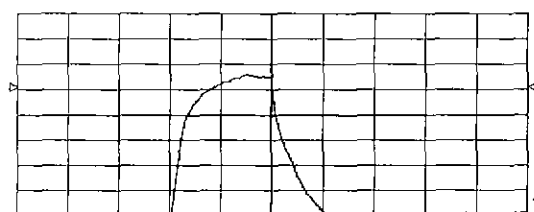


(a) 노이즈가 없는 경우

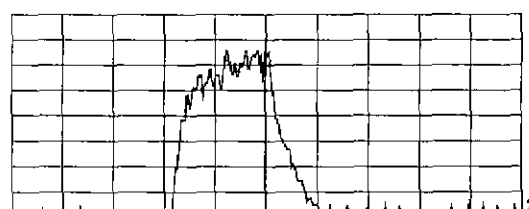


(b) 10% 노이즈 인가했을 경우

그림 5. SRM의 상전류 [0.5A/Div, 2ms/Div]

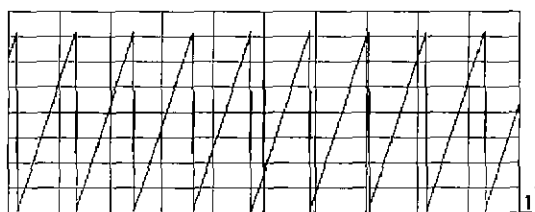


(a) 노이즈가 없는 경우

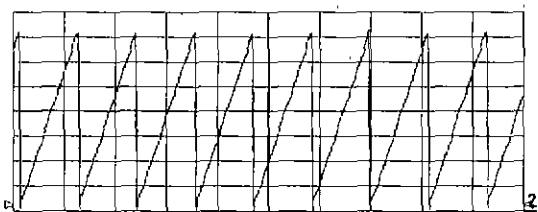


(b) 20% 노이즈 인가했을 경우

그림 8. SRM의 상전류 [0.5A/Div, 2ms/Div]

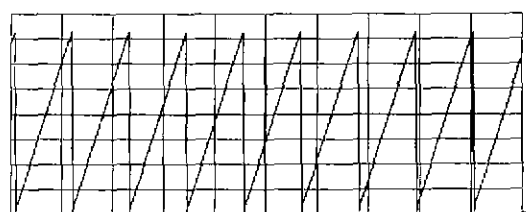


(a) 측정된 회전자 위치

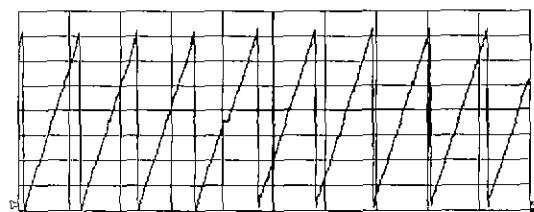


(b) 추정 알고리즘에 의한 추정된 회전자 위치

그림 6. 회전자 위치 [50Deg/Div, 50ms/Div]



(a) 측정된 회전자 위치



(b) 추정 알고리즘에 의한 추정된 회전자 위치

그림 9. 회전자 위치 [50Deg/Div, 50ms/Div]

대해 다음과 같이 정의하고 있다.

첫째 알고리즘은 기본 시스템의 가정된 모델에서 적절하게 양호한 정확성을 가져야 하며 둘째로 데이터의 적은 변화는 단지 적은 양으로 알고리즘의 구현이 줄어들어야 한다. 셋째로 데이터의 큰 변화에 의해 큰 이변이 없어야 한다. 첫 번째 조건을 만족하기 위해 제안된 알고리즘에서 입력 데이터가 노이즈가 없을 때, 출력으로 회전자 위치의 추정에 강인함을 보여주고 있다. 두 번째 조건을 위해 퍼지 셋 이론을 이용한 모델링을 사용하는 데 이는 크리슈 방식에 비해 입력 노이즈에 대한 강인성을 갖는다. 이것은 퍼지 시스템에서의 멤버쉽 함수들의 넓이와 크기가 노이즈 레벨을 허용할 수 있기 때문이다. 마지막으로 세 번째 조건을 만족하기 위해 쇄교자속 추정 단계를 이용해 입력 데이터인 쇄교자속의 큰 오차에 대해 보상을 실시한다.

4. 실험결과

그림 4와 5는 SRM의 한 상에 대한 전압과 전류의 파형들을 보여 주고 있다. SRM은 정상상태로 1000rpm으로 운전 중에 있으며, 전압과 전류에 대해 각각 크기의 10% 랜덤 노이즈를 부가하였다. 랜덤 노이즈는 Park와 Miller의 최소 랜덤 넘버 발생기에 의해 만들어진 Non-Gaussian 노이즈이다.

그림 6은 360°를 주기로 하는 회전자 위치를 나타낸 것으로 그림 6(a)는 실제 측정된 회전자 위치이고 그림 6(b)는 추정된 회전자 위치이다. 10%의 노이즈를 인가했을 때 평균 9.1°의 오차를 나타내었다. 또한 최대 오차는 18.7°로 360°를 한 주기로 했으므로 약 5.2%가 된다. 이것은 입력들의 최대 10%노이즈를 인가했을 경우에 비해 작다는 것을 알 수 있다.

다음 실험으로 그림 7과 8에서 보는 바와 같이 20%의 노이즈를 전압과 전류에 인가하였다. 그림 9(a)와 (b)는 각각 실제 측정된 그리고 추정된 회전자 위치를 나타내었다. 이 경우의 평균오차는 약 12.5°이고 최대 오차는 48°이다. 역시 360°를 한 주기로 했기 때문에 약 13%의 오차를 보였다. 입력 노이즈로 최대 크기의 20%를 인가했을 경우 보다 오차가 작다.

결국 제안된 알고리즘을 이용해 추정된 회전자 위치는 최대 입력의 10%와 20% 노이즈 인가시에 각각 5.2%, 11.6%의 오차를 보임으로써 알고리즘은 강인하다.

또한 실험에 있어서 샘플링 비는 디지털 데이터의 변환, 위치 추정에 영향을 준다. 따라서 낮은 샘플링 주파수는 식(1)에 의해 쇄교자속 적분에 영향을 준다. 전기기기의 디지털 제어의 유연성을 위해서는 최소 5~

10KHz의 샘플링 주파수를 필요로 한다.

5. 결론

회전자 위치 센서리스 제어방식에 있어서 위치 추정 알고리즘은 매우 높은 강인성과 신뢰성이 없다면 위치 센서를 대체할 수 있는 어떤 장점도 갖지 못한다.

본 논문에서는 퍼지 논리 기반 위치 평가 알고리즘을 이용해 보다 높은 수준의 강인성과 신뢰성을 갖도록 설계하였다. 노이즈에 의한 측정오차들 뿐만 아니라 쇄교자속과 회전자 위치는 스위칭 노이즈로부터 높은 크기 과도 오차를 나타낸다. 그러나 이러한 노이즈를 갖는 입력들은 정상적으로 똑같은 멤버쉽 함수의 부분적 멤버가 되어 같은 룰들이 노이즈와 노이즈가 없는 신호들에 의해 행해진다. 결국 퍼지 추론 논리를 이용하여 실제 SRM 구동에서의 높은 오차와 노이즈 조건에서 회전자 위치를 추정할 수 있다.

이 논문은 1998년도 한국과학재단 특정연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] J.D.Choi, K.D.Kim, "Sensorless speed control of a Switched Motor using Fuzzy Algorithm", ICMT'99, pp. 457-462, 1999.
- [2] Cheok, A. D. Ertugrul, N., "High Robustness and Reliability of a Fuzzy Logic Based Angle Estimation Algorithm for Practical Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol 2 pp. 1302-1308, Japan, 1998.
- [3] Cheok, A. D. Ertugrul, N., "Sensorless rotor position detection techniques in switched reluctance motor drives", Australasian Universities Power Engineering Conference, Perth, Australia, 27-29 September 1995.
- [3] Ertugrul, N., Cheok, A. D., "Indirect Angle Estimation in Switched Reluctance Motor Drives Using Fuzzy Logic Based Predictor/Correct", IEEE Power Electronics Specialists Conference, Japan, 1998.
- [4] Dave R. N., Krishnapuram R., "Robust Clustering Methods: A Unified View", IEEE Trans, Fuzzy Systems, Vol 5, no 2, pp. 270-293, May 1997.
- [5] P.J.Huber, "Robust Statistics", New York, Wiley, 1981.
- [6] Saul A.T., "Numerical Recipes In C: the art of scientific computing", William H. Press, 1992.